



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**OBNOVA HŘÍDELE VZDUCHOTECHNICKÉHO
SOUSTROJÍ**

RESTORING OF THE VENTILATION SHAFT GENERATOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Libor Veselý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Libor Veselý**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Obnova hřídele vzduchotechnického soustrojí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navržení a realizace výrobního procesu součásti z vyššího montážního celku v energetickém průmyslu. Příprava souboru dat souvisejících se specifickým prostředím k využití při řešení obdobných situací v provozních podmínkách.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor poruchy u vzduchotechnického soustrojí.
2. Navržené varianty řešení.
3. Výběr vhodné varianty.
4. Technické detaily vybrané varianty.
5. Technicko–ekonomické vyhodnocení.
6. Diskuze výsledků.

Seznam doporučené literatury:

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

KARPÍŠEK, Zdeněk. Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost. 3. vyd. Olomučany: CERM, s.r.o., 2007. 170 s. ISBN 978-80-241-3380-9.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Magisterská práce se zabývá způsobem odstranění poruchy vzduchotechnické jednotky. Jsou zde analyzovány možné příčiny poruchy vzduchotechnického soustrojí a navrženy varianty řešení způsobu opravy. První navržená varianta se zabývá renovací původní poškozené součásti technologií žárového nástřiku včetně volby vhodné metody. Druhý způsob opravy je navržen výrobou nové součásti technologií třískového obrábění v podmínkách firmy, tento způsob opravy obsahuje návrh polotovaru součásti, volbu strojů ze strojového parku firmy, návrh vhodných nástrojů a řezných podmínek. Technicko-ekonomické zhodnocení se zabývá porovnáním nákladů obou navržených variant. Vybraný způsob opravy byl využit pro opravu vzduchotechnické jednotky.

Klíčová slova

Jaderná elektrárna, vzduchotechnická jednotka, žárový nástřik, obrábění, technologický postup

ABSTRACT

The subject of this work is the repair of an air-handling unit. Possible causes of the problem are analyzed and multiple solutions are proposed. The first variant considers the refurbishment of the damaged component using thermal spray technology, including the choice of the best method. The second solution proposes the manufacture of a new part using machining in the environment of the company. This process requires an intermediate product to be made, and the choice of the correct machines from what the company has available, choice of the right tools and cutting conditions. The technical-economical evaluation compares the the expenses tied with both of the solutions. The chosen repair solution was used for the repair of the air-handling unit.

Key words

Nuclear power plant, air-conditioning unit, thermal spray, machining, technological process

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VESELÝ, Libor. *Obnova hřídele vzduchotechnického soustrojí*. Brno 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 78 s. 16 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Obnova hřídele vzduchotechnického soustrojí** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

17. 5. 2017

Datum

Bc. Libor VESELÝ

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za cenné rady a připomínky při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji své rodině, především manželce, za vytrvalou podporu během celého dosavadního studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ROZBOR PORUCHY U VZDUCHOTECHNICKÉHO SOUSTROJÍ.....	10
1.1 Představení JE Dukovany	10
1.1.1 Primární okruh	11
1.1.2 Sekundární okruh.....	13
1.2 Vzduchotechnické systémy JE Dukovany	14
1.2.1 Vzduchotechnika reaktorovny	15
1.3 Zjištění poruchy VZT soustrojí.....	17
1.3.1 Diagnostika točivých strojů na EDU	18
1.3.2 Rozbor závady VZT soustrojí.....	20
1.4 Možné příčiny poruchy VZT jednotky	25
1.4.1 Zbytková vnitřní napjatost v novém hřídeli.....	25
1.4.2 Chyba při sestavování VZT soustrojí	26
2 NAVRŽENÉ VARIANTY ŘEŠENÍ.....	32
2.1 Oprava součásti pomocí žárového nástřiku	32
2.1.1 Nástřik plamenem	33
2.1.2 Nástřik elektrickým obloukem ARC	34
2.1.3 Plazmový nástřik APS	35
2.1.4 Plazmové navařování PTA	36
2.1.5 Vysokorychlostní nástřik HVOF	37
2.2 Výroba nové součásti technologií tržkového obrábění	38
3 VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY	39
3.1 Legislativní omezení	39
3.1.1 Vyhláška 309/2005 sb.....	39
3.1.2 Vyhláška 132/2008 sb.....	39
3.1.3 Normativně technické dokumentace A. S. I.	39
3.2 Výroba nové součásti	40
3.3 Oprava původní součásti technologií žárového nástřiku	42
3.3.1 Postup opravy	42
4 TECHNICKÉ DETAILS VYBRANÉ VARIANTY	47

4.1	Volba polotovaru	47
4.1.1	Materiál polotovaru.....	47
4.1.2	Rozměr polotovaru	48
4.2	Žihání	49
4.2.1	Žihání ke snížení vnitřní napjatosti.....	49
4.3	Strojový park firmy.....	50
4.3.1	Univerzální hrotový soustruh SU 63 H.....	51
4.3.2	Frézka konzolová FGV 32.....	51
4.3.3	Hrotová bruska BUB 40 B.....	52
4.4	Volba nástrojů.....	53
4.5	Výrobní postup.....	55
5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ.....	58
5.1	Výroba nové součásti	58
5.1.1	Výpočet strojních časů při soustružení	58
5.1.2	Výpočet strojních časů při frézování	60
5.1.3	Výpočet strojních časů při broušení.....	61
5.1.4	Sumarizace strojních časů a výrobních nákladů	63
5.2	Renovace hřídele	64
6	DISKUZE	65
6.1	Renovace poškozené součásti	65
6.2	Výroba nové součásti	65
6.3	Reklamace nového hřídele	66
6.4	Vliv tepelného zpracování.....	66
6.5	Úspora při opravě hřídele čerpadla surové vody.....	67
	ZÁVĚR	70
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	71
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	75
	SLOVNÍČEK ODBORNÝCH POJMŮ	77
	SEZNAM PŘÍLOH.....	78

ÚVOD

Obsahem magisterské práce je návržení a zpracování způsobu opravy poškozeného dílu vzduchotechnického soustrojí. Jedná se o řešení poruchy vzduchotechnické jednotky, která je součástí technologie JE Dukovany, konkrétně o poškozený hnací hřídel ventilátoru vzduchotechnického systému (obr. 1.1).

Práce obsahuje rozbor poruchy vzduchotechnického soustrojí, navržené varianty řešení, návrh polotovaru a technologický postup výroby náhradního dílu. Dále jsou stanoveny rozměry polotovaru a jeho tepelné zpracování.

V technologickém postupu výroby jsou navrženy všechny operace potřebné k výrobě dané součásti. Operace jsou seřazeny podle funkčních požadavků součásti. Stroje jsou zvoleny dle strojního vybavení firmy a jednotlivých operací, tak jak následují po sobě. Jedná se o rotační součást hřídelového charakteru, která je převážně obráběna soustružením. Ve výrobních návodkách jsou stanoveny základní řezné podmínky pro výrobu. Celková výrobní dávka pro tuto součást je jeden kus.

Technicko-ekonomické hodnocení se zabývá porovnáním nákladů na výrobu nové součásti s náklady na možnou alternativu renovace poškozené součásti technologií žárového nástřiku.



Obr. 1.1 Hřídel ventilátoru vzduchotechnické jednotky.

1 ROZBOR PORUCHY U VZDUCHOTECHNICKÉHO SOUSTROJÍ

Práce se zabývá rozbořem poruchy a návrhem možných variant řešení opravy vzduchotechnického soustrojí, které je součástí technologického celku Jaderné elektrárny Dukovany. Pro snadnější pochopení návazností je nejdříve ve stručnosti popsána základní technologie elektrárny včetně dotčené vzduchotechnické jednotky.

1.1 Představení JE Dukovany

Jaderná elektrárna Dukovany (obr. 1.2) je první provozovanou jadernou elektrárnou v České republice. Patří mezi největší, vysoce spolehlivé a ekonomicky výhodné energetické zdroje společnosti ČEZ, a. s. Roční výroba elektrické energie přesahuje 15 TWh, což představuje asi 20 % z celkové spotřeby elektřiny v České republice. V porovnání s ostatními výrobci vyrábí elektrárna Dukovany elektřinu s nejnižšími měrnými náklady [1].



Obr. 1.2 Jaderná elektrárna Dukovany [1].

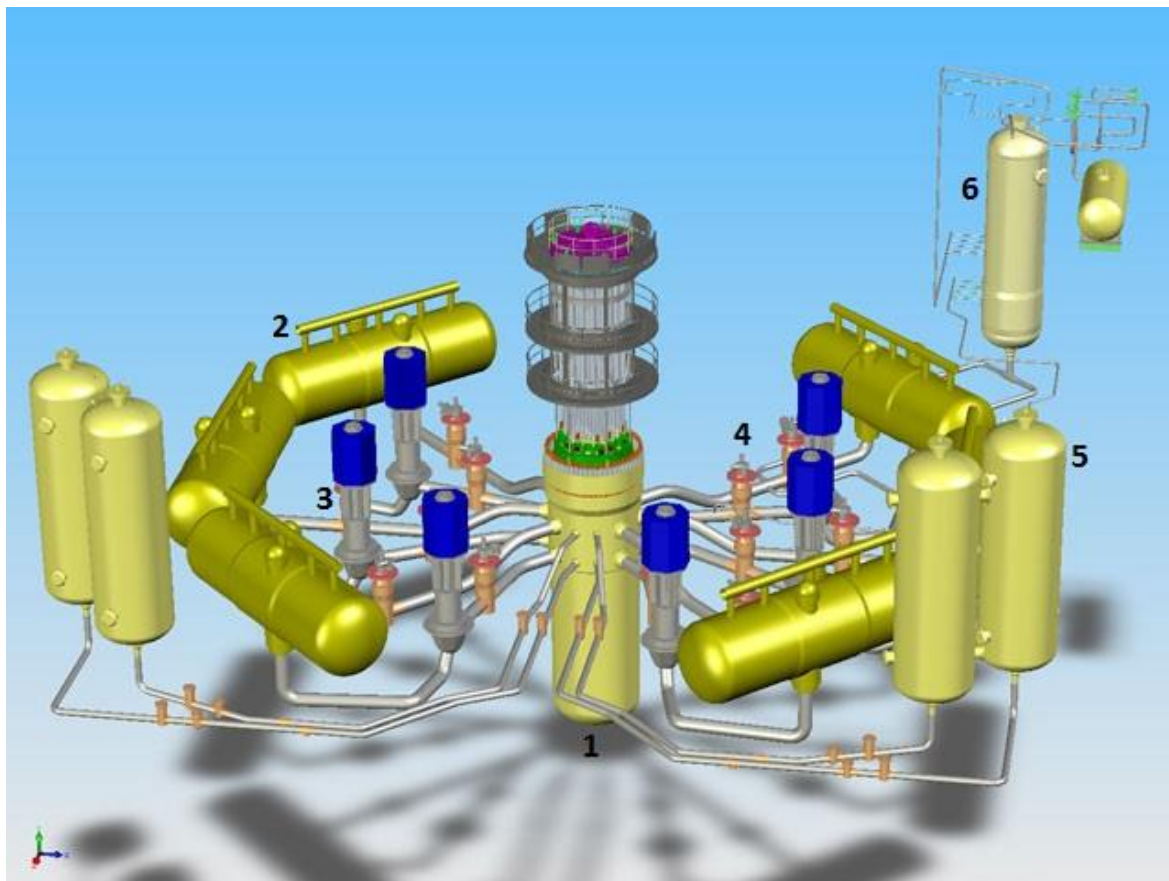
V Jaderné elektrárně Dukovany jsou instalovány čtyři tlakovodní reaktory. Projektové označení těchto reaktorů je VVER 440/213. VVER znamená Vodou chlazený, Vodou moderovaný Energetický Reaktor. Každý ze čtyř reaktorů má tepelný výkon 1375 MW. Každý disponuje elektrickým výkonem 510 MW [1].

Elektrárna je uspořádána do dvou hlavních výrobních bloků. V každém z nich jsou dva reaktory se všemi přímo souvisejícími zařízeními, včetně strojovny s turbínami a generátory. Zařízení elektrárny je funkčně rozděleno na technologii primárního a sekundárního okruhu [1].

Zmíněná vzduchotechnická jednotka se dispozičně nachází v prostorech sekundárního okruhu a upravený vzduch je přes systém potrubí dopravován do prostor primárního okruhu.

1.1.1 Primární okruh

Primární okruh je systém zařízení, který umožňuje získávat tepelnou energii z jaderného paliva prostřednictvím řízené štěpné řetězové reakce. nepřetržitě ji pomocí chladiva odvádět a přeměnit ji na formu tepelné energie využitelné v parní turbíně [2].



Obr. 1.3 Schéma primárního okruhu JE Dukovany [3], 1 – reaktor, 2 – parogenerátory, 3 – hlavní cirkulační čerpadla, 4 – hlavní uzavírací armatury, 5 – hydroakumulátory, 6 – kompenzátor objemu.

Základními zařízeními tohoto okruhu jsou [2]:

- reaktor,
- parogenerátory,
- hlavní cirkulační čerpadla,
- cirkulační potrubí primárního okruhu,
- kompenzátor objemu.

Uvolněné teplo je z aktivní zóny reaktoru odváděno nucenou cirkulací chladiva. Tu zajišťují hlavní cirkulační čerpadla. Chladivo ohřáté v aktivní zóně reaktoru proudí horkou větví cirkulační smyčky do parogenerátoru. Tam se předává teplo vzniklé štěpnou reakcí vodě sekundárního okruhu, která se mění na páru. Ochladené chladivo proudí pomocí hlavního cirkulačního čerpadla z parogenerátoru studenou větví cirkulační smyčky zpět do reaktoru pod aktivní zónu. Průtokem chladiva aktivní zónou směrem zdola nahoru se opět ohřívá a vystupuje znovu do horké větve cirkulační smyčky [2, 4].

Jaderný reaktor

Jaderný reaktor je technické zařízení (obsahující jaderné palivo, chladivo, moderátor, konstrukční materiály a řídicí systémy), které slouží k udržování řízené štěpné řetězové reakce a umožňuje plynule odvádět tepelnou energii uvolňovanou při štěpení. Reaktor (příloha 1) tvoří ocelová tlaková nádoba opatřená odnímatelným víkem, uvnitř které se nachází aktivní zóna, v níž je uspořádáno jaderné palivo a regulační orgány pro řízení a kontrolu štěpné reakce [2, 4].

Oběhové (hlavní cirkulační) čerpadlo

HCC zajišťuje cirkulaci chladiva primárním okruhem a zároveň přenos tepelné energie z aktivní zóny reaktoru do teplosměnné plochy parogenerátoru. V souladu s tepelným výkonem reaktoru zajišťuje ve všech režimech provozu bloku potřebné průtočné množství chladiva aktivní zónou reaktoru [2, 4].

Z hlediska konstrukce se jedná o vertikální, odstředivé, jednostupňové čerpadlo s mechanickým těsněním hřídele, letmo uloženým oběžným kolem poháněné asynchronním elektromotorem (příloha 2) [2, 4].

Kompenzátor objemu

Přestože koeficient objemové teplotní roztažnosti vody je poměrně malý, je třeba při objemu chladiva primárního okruhu několika stovek m^3 již se vzrůstem objemu vlivem teploty počítat. Pokud by totiž nebyl příslušný vzrůst objemu chladiva nějak kompenzován, došlo by při vzrůstu objemu vody k tak velkému mechanickému namáhání zařízení primárního okruhu, že by mohlo dojít k jeho prasknutí a uvolnění chladiva (radioaktivního) do prostoru primárního okruhu [2, 4].

Kompenzátor objemu je vertikální ocelová tlaková nádoba (příloha 3), svou velikostí srovnatelná s tlakovou nádobou reaktoru, připojená potrubím k horké větvi jedné ze smyček primárního okruhu. Kromě kompenzace teplotních objemových změn chladiva slouží kompenzátor objemu i k regulaci tlaku primárního chladiva pomocí vestavěných elektroohříváčů či sprch. Proti překročení přípustné hodnoty tlaku v primárním okruhu je kompenzátor objemu vybaven pojistnými ventily [2, 4].

Parogenerátor

Parogenerátor je tlakový tepelný horizontální výparníkový výměník (příloha 4), ve kterém voda primárního okruhu (v parogenerátoru proudící v tlakových trubkách) předává své teplo vodě sekundárního okruhu. Protože teplota vody okruhu primárního je vyšší než teplota varu

vody sekundárního okruhu (tlak vody v primárním okruhu je totiž více jak dvojnásobný proti tlaku vody či páry sekundárního okruhu), dochází v parogenerátoru k intenzivnímu vývinu páry, která je parovodem vedena na turbínu [2, 4].

Potrubí primárního okruhu

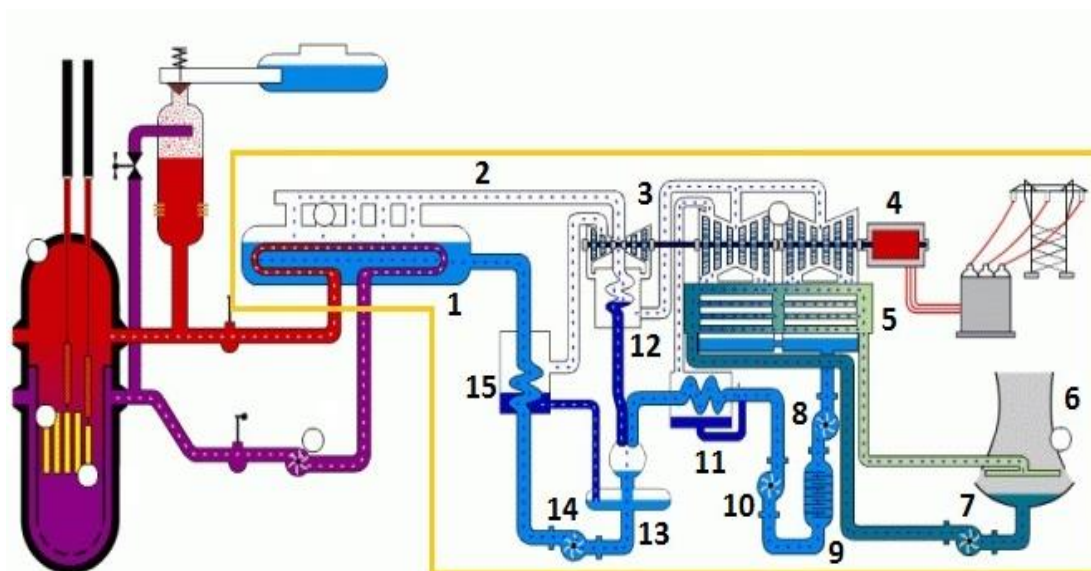
Jedná se o potrubí o průměru 500 mm a síle stěny 32 mm navzájem propojující reaktor, parogenerátor a oběhová čerpadla. Pro snížení tepelných ztrát a současně pro umožnění kontroly jeho stavu, je toto potrubí opatřeno tepelnou snímací izolací. Ta část potrubí mezi reaktorem a parogenerátorem, kterým proudí ohřátá voda z reaktoru do parogenerátoru, je nazývána horkou větví. Zbývající část potrubí, odvádějící vodu z parogenerátoru přes oběhové čerpadlo do reaktoru, je nazývána studenou větví primárního okruhu [2, 4].

1.1.2 Sekundární okruh

Sekundárním okruhem v jaderné elektrárně je nazýván systém zařízení, který umožňuje přeměnit tepelnou energii páry v mechanickou energii rotoru parní turbíny [2].

Základními zařízeními tohoto okruhu jsou [2]:

- turbína a generátor,
- kondenzátor,
- kondenzátní a napájecí čerpadla,
- regenerační ohříváky.



Obr. 1.4 Sekundární okruh JE Dukovany [5], 1 – parogenerátor, 2 – parní potrubí, 3 – turbína, 4 – generátor, 5 – kondenzátor, 6 – chladičí věže, 7 – chladičí čerpadla, 8 – kondenzátní čerpadla 1 stupně, 9 – bloková úprava kondenzátu, 10 – kondenzátní čerpadla 2 stupně, 11 – nízkotlaká regenerace, 12 – separace a přehřívání, 13 – napájecí nádrž, 14 – napájecí čerpadla, 15 – vysokotlaká regenerace.

Turbína a generátor

Turbína je rotační tepelný motor (příloha 5), v němž se vnitřní energie páry přeměňuje na rotační mechanickou energii rotoru turbíny. U rovnotlakých turbín se tlakový spád páry mění v rozvaděcích lopátkách statoru na kinetickou energii páry, která je předávána prostřednictvím oběžných lopatek rotoru. Rotor turbíny je spojen s rotorem generátoru, kde se transformuje kinetická energie rotoru na energii elektrickou [2, 6].

Kondenzátor

Kondenzátorem je nazýván tepelný výměník, v němž pára po expanzi v turbíně a po ochlazení chladicí vodou kondenzuje. Přiléhá těsně ke spodní části nízkotlakého dílu turbíny. Pára opouštějící turbínu prochází mezi trubkami, jimiž protéká chladicí voda a na jejich povrchu kondenzuje. Zkondenzovaná pára je kondenzátními čerpadly přes úpravu kondenzátu, regenerační výměníky a odplynění dopravována do parogenerátoru [2, 6].

Nízkotlaké a vysokotlaké regenerační ohříváky

Tepelné výměníky, ve kterých pára z neregulovaných regeneračních odběrů turbíny předává své kondenzační teplo kondenzátu nebo napájecí vodě parogenerátoru. V nízkotlakých regeneračních výměnících je kondenzát postupně ohřátý na bod varu tak, aby v odplyňovací nádrži mohl být zbaven plynů v něm rozpuštěných. Ve vysokotlakých regeneračních ohřívácích je v odplyňovacích nádržích plynů zbavená napájecí voda zahřátá na teploty blízké bodu varu v parogenerátoru [2, 6].

Kondenzátní a napájecí čerpadla

Kondenzátní čerpadla slouží k čerpání kondenzátu z kondenzátorů turbín přes nízkotlaké regenerační ohříváky do odplyňovací nádrže. Napájecí čerpadla dopravují napájecí odplyněnou vodu z odplyňovací nádrže přes vysokotlaké regenerační ohříváky do parogenerátoru a současně zvyšují tlak napájecí odplyněné vody na tlak generované páry [2, 6].

1.2 Vzduchotechnické systémy JE Dukovany

Vzduchotechnické systémy Jaderné elektrárny Dukovany jsou určeny k plnění rozsáhlého množství úkolů. Některé jsou určeny k vytváření pracovních podmínek pro zařízení umístěná v uzavřených prostorách HVB, ve kterých může dojít ke kontaminaci vzduchu radioaktivními látkami, jiné pracují v objektech mimo HVB, kde umožňují dlouhodobou práci personálu [7].

Některé vzduchotechnické systémy pouze upravují teplotu vzduchu v dané místnosti, hale nebo boxu, jiné zvyšují čistotu vzduchu na vstupu do objektu, další jsou schopné odsávat vzduch z uzavřených prostor, zachycovat aerosoly, pevné částice nebo obecně radioaktivní látky [7].

V elektrárně jsou instalovány systémy, které udržují předepsanou koncentraci kyslíku v uzavřených prostorách a tím vytvářejí podmínky pro kontrolní činnost obsluhy zařízení. Tam kam není možno vstoupit pro vysokou koncentraci radioaktivních aerosolů, tzn., že by

pracovníkům hrozila vnitřní kontaminace, vyrábí speciální vzduchotechnický systém tzv. skafandrový vzduch. [7].

1.2.1 Vzduchotechnika reaktorovny

Vzduchotechnika reaktorovny je pomocný technologický provozní celek, který udržuje předepsané hygienické podmínky pro obsluhující personál. Zajišťuje vhodné pracovní prostředí pro technologické zařízení primárního okruhu včetně vnitřní a vnější bezpečnosti z hlediska likvidace aktivity při havarijních a pohavarijních stavech technologického zařízení reaktorovny [7].

Základním pravidlem, které vzduchotechnika v KP respektuje, je, že vzduch proudí vždy ve směru zvětšující se aktivity. Dále vzduch, který obsahuje škodliviny, se před vypuštěním do atmosféry filtruje ve vhodných filtrech [7].

Z hlediska jaderné bezpečnosti je vzduchotechnické zařízení rozděleno na zónu hermetickou (dimenzovanou na tlak), a zónu vzduchotěsnou (nedimenzovanou na tlak). Jednotlivá zařízení a elementy jsou navrženy pro práci ve ztížených podmínkách z hlediska tlaku, teploty a aktivity [7].

Spolehlivost provozu podle provozní důležitosti vzduchotechnických zařízení je zajišťována bez rezervy nebo s 50 % až 200 % rezervou zařízení [7].

VZT jednotka P-4 (TL41)

Vzduchotechnický systém P-4 (obr. 1.6) slouží pro přívod vzduchu do hermetické zóny při odstávce reaktoru. Ventilátor této jednotky pracuje bez zálohy. Výkon přívodní větrací jednotky je $40\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Ventilátor saje vzduch z nasávací komory přes klapky sání, upravuje vzduch na filtru, ohříváči a chladiči. Přes klapku výtlaku dopravuje vzduch do přetlakové komory přes rychlouzavírací hermetické klapky. Z této komory se přetlakově rozvádí vzduch přes hermetický uzávěr do jednotlivých místností hermetické zóny [8].



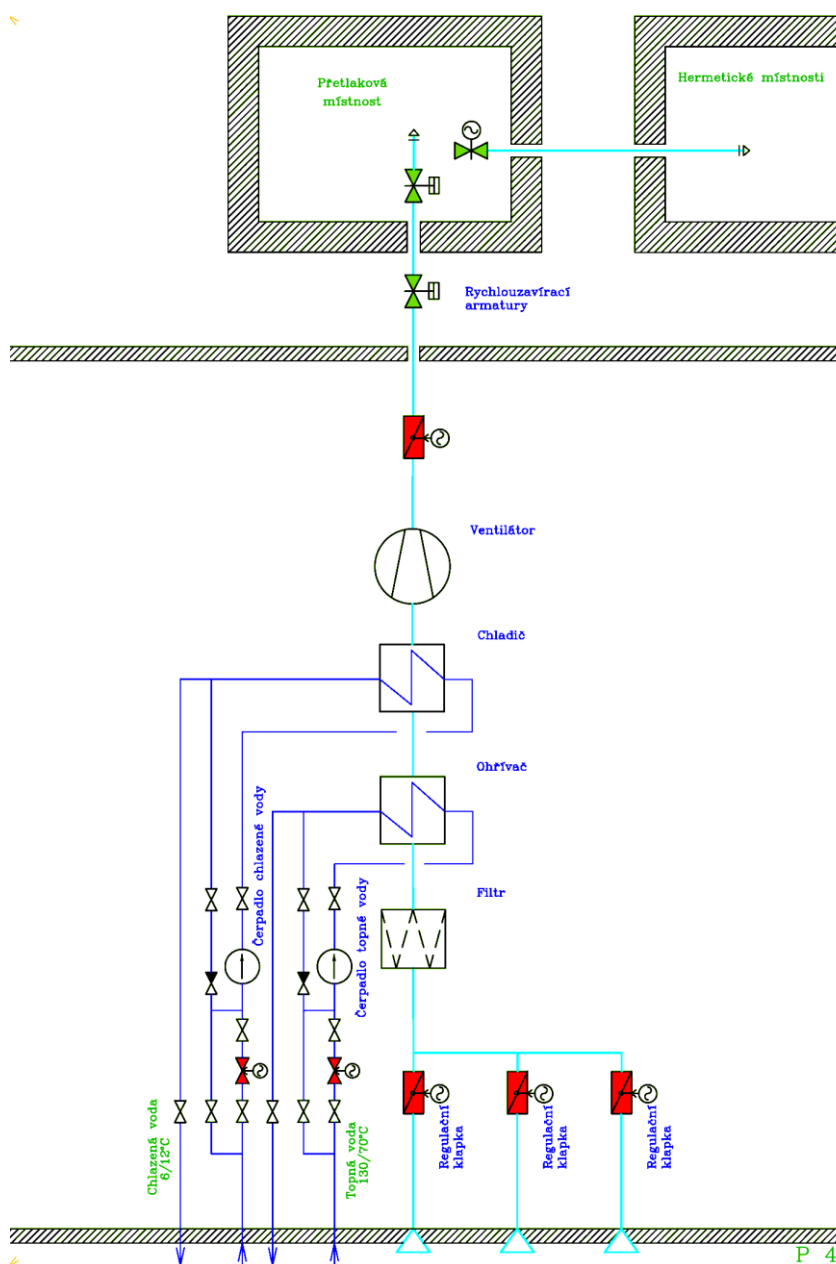
Obr. 1.5 Vzduchotechnická jednotka P-4.

Základní zařízení systému [8]:

- ventilátor,
- klapka na sání,
- filtr,
- ohřívač,
- chladič,
- klapka na výtlaku,
- rychlouzavírací hermetický uzávěr,
- automatické plynotěsné uzávěry,
- regulační ventil topné vody,
- regulační ventil chlazené vody,
- čerpadlo topné vody,
- čerpadlo chlazené vody.

Tab. 1.1 Technické parametry VZT jednotky P-4 [8].

Ventilátor 2TL141D01	
TECHNICKÝ POPIS ZAŘÍZENÍ	
Typ	RSE - 1250
Průtok vzduchu	40 000 m ³ ·h ⁻¹
Tlaková difference	2100 Pa
Teplota ložisek	60 °C
Typ elektromotoru	F 250 M 06
Výkon elektromotoru	40 kW
Napětí	380 V
Otáčky	985 min ⁻¹
TECHNICKÉ PODMÍNKY PROVOZU	
Maximální teplota ložisek ventilátoru a motoru	70 °C



Obr. 1.6 Schéma VZT systému P-4 [8].

1.3 Zjištění poruchy VZT soustrojí

Při provozu VZT jednotky P-4 (obr. 1.5) během plánované odstávky reaktorového bloku pro výměnu paliva, bylo provozní obsluhou zařízení zjištěno zvýšené chvění tohoto soustrojí. Následně bylo provedeno kontrolní měření chvění pracovníky diagnostického oddělení. Toto kontrolní měření viz protokol Příloha 6 potvrdilo zvýšené hodnoty chvění tohoto soustrojí.

Dle příslušné metodiky byly tyto vibrace klasifikovány stupněm D, což je stav NEUSPOKOJIVÝ. Na základě těchto výsledků bylo rozhodnuto o opravě vzduchotechnické jednotky po ukončení GO reaktorového bloku.

1.3.1 Diagnostika točivých strojů na EDU

Plánované kontroly vibrací se provádějí u všech zařízení, která jsou zařazena v databázi sledovaných zařízení. Periodické kontroly se rovněž mohou provádět u zařízení, která jsou sledována kontinuálně, jako např. turbogenerátory. Důvodem je, že kontinuální měření není nikdy osazeno na všech ložiskách stroje a neměří ve všech směrech. Dalším důvodem je také ověření funkčnosti kontinuálního měření [9].

Monitorování vibrací pochůzkovou provozní kontrolou se provádí u soustrojí uvedených v databázi sledovaných zařízení. Při tomto způsobu měření se používá přenosných diagnostických přístrojů (obr. 1.7).

Pochůzková kontrola se dále člení na tyto kontroly [9]:

- plánované provozní kontroly,
- operativní provozní kontroly:
 - měření na vyžádání,
 - měření po opravě,
 - měření nových strojů.



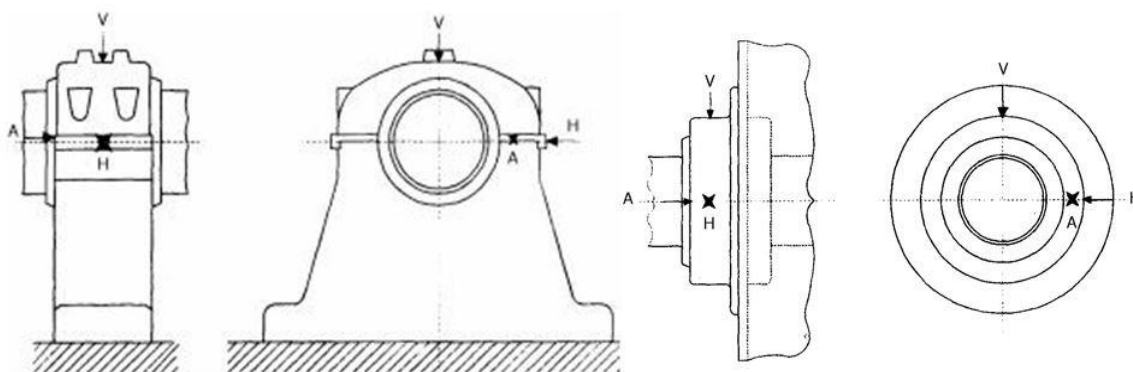
Obr. 1.7 Vibrometr Adash A4101 [10].

Měřicí místo na stroji musí být upraveno tak, aby bylo měření prováděno stále na stejném místě a byl zaručen věrohodný přenos vibračního signálu. K tomuto účelu se používají měřicí podložky, které jsou nalepeny na stroji (obr. 1.8). Tyto podložky umožňují přišroubování snímače vibrací, čímž je zaručena i opakovatelnost dalších měření [9].



Obr. 1.8 Měřicí místa na VZT jednotce P-4.

Při měření vibrací na rotujících hřídelích se obvykle na ložisku nebo v jeho těsné blízkosti (obr. 1.9) umísťují dva snímače pootočené o 90° v příčné rovině k ose hřídele. Je doporučeno osadit snímače každé ložisko. Jednoho snímače může být použito pouze v případě, když dostatečně vypovídá o vibračních charakteristikách hřídele. Je nutné si ale uvědomit, že se ztrácí informace o poloze hřídele [9].



Obr. 1.9. Doporučená měřicí místa a směry měření na ložiskových stojanech a uloženíh [9].

Po zpracování naměřených dat se pro vyhodnocení celkového stavu zařízení na základě diagnostiky vibrací uplatňují klasifikační stupně [9]:

- A – výborný,
- B – vyhovující,
- C – uspokojivý,
- D – neuspokojivý,
- E – nepřijatelný.

Pro posouzení celkového technického stavu se kromě hodnocení mohutnosti vibrací berou v úvahu zároveň výsledky jednotlivých diagnóz na zařízení vycházející ze sledování trendů (skokové změny), hodnocení analýz vibračních spekter a dalších nálezů zjištěných při měření [9].

Toto hodnocení je převedené do klasifikace stavu rotačních zařízení na základě měření vibrací. Definice stavu zařízení a opatření do provozu jsou uvedeny v příloze 7 [9].

1.3.2 Rozbor závady VZT soustrojí

Po ukončení všech prací realizovaných během odstávky, náběhu a dosažení nominálního výkonu bloku, bylo možné vzduchotechnické soustrojí P-4 odstavit do opravy. Po demontáži jednotlivých částí, které mají při provozu soustrojí vliv na jeho vibrace, tj. elektromotoru, hřídele (obr. 1.10), oběžného kola (obr. 1.11) a ložisek (obr. 1.12), následovalo provedení vizuální kontroly všech demontovaných částí. Při této kontrole bylo zjištěno poškození hnacího hřídele ventilátoru v místě, kde je na hřídeli namontováno valivé ložisko (obr. 1.13).



Obr. 1.10 Demontovaný hřídel VZT jednotky P-4.



Obr. 1.11 Oběžné kolo VZT jednotky P-4.



Obr. 1.12 Ložiskový stojan VZT jednotky P-4.



Obr. 1.13 Detail poškozeného hřídele VZT jednotky.

Jako vhodný způsob opravy VZT jednotky byla zvolena výroba nového hřídele. Po vyrobení nové součásti byla provedena zpětná montáž jednotlivých komponent vzduchotechnické jednotky.

Protože tato jednotka zabezpečuje větrání hermetických prostor I.O. pouze v průběhu odstávky reaktorového bloku a při provozu bloku na nominálním výkonu není možné jednotku provozovat, ani odzkoušet její chod z důvodu narušení udržovaného podtlaku v hermetické zóně primárního okruhu, byla uvedena do zálohy.

Opakovaná porucha VZT soustrojí

V další odstávce reaktorového bloku pro výměnu paliva byla VZT jednotka uvedena do provozu, aby zajišťovala přívod vzduchu do reaktorového sálu a přilehlých prostor během realizace plánovaných oprav. Během provozu soustrojí byly provozní obsluhou opět zjištěny zvýšené vibrace soustrojí.

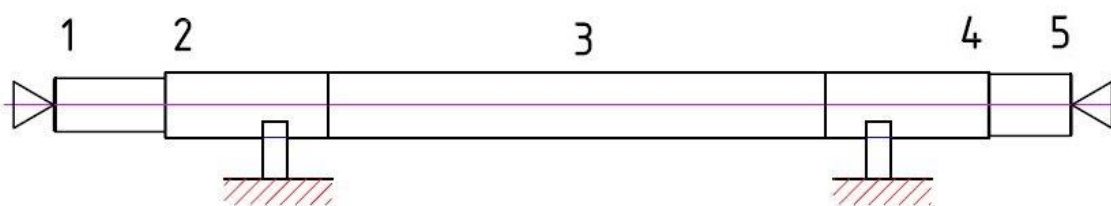
Po provedení kontrolního měření chvění vzduchotechnického soustrojí pracovníky odboru diagnostiky byly opět potvrzeny zvýšené hodnoty chvění. Dle příslušné metodiky byly tyto hodnoty vibrační klasifikovány stupněm E, což je stav NEPŘÍPUSTNÝ, viz protokol z měření (příloha 8). Na základě výsledků tohoto měření musela být jednotka odstavena z provozu a bylo třeba zjistit příčinu vibrační a zajistit opravu VZT jednotky.

Po odstavení VZT jednotky do opravy opět následovala demontáž jednotlivých komponent. Na nově vyrobeném hřídeli ani ložiskách nebyly při zběžné vizuální kontrole zjištěny žádné viditelné vady, které by mohly způsobovat nepřípustné vibrace soustrojí. Jako doporučení z posledního diagnostického měření vibrační bylo vyvážení rotujících částí a kontrola hřídele.

U oběžného kola ventilátoru (obr. 1.11), které má hmotnost 290 kg a svojí velikostí tak odpovídá vysokému hodinovému objemu dodávaného média (cca 40 000 m³·h⁻¹), byla provedena kontrola jeho vyvážení na vyvažovacím stroji.

Vzhledem k rozměrům a zejména vysoké hmotnosti oběžného kola nebylo možné jeho letmé upnutí ve vyvažovacím stroji. Tento způsob upnutí by věrněji simuloval reálný provoz soustrojí. Výsledkem vyvažovacích prací bylo zjištění, že naměřené hodnoty vibrací oběžného kola ventilátoru splňují předepsané tolerance.

Na demontovaném hřídeli bylo po převezení na mechanickou dílnu provedeno kontrolní měření obvodového házení. Při prvním měření byl hřídel upnutý mezi hroty a při druhém byl ustaven na stojánky v místech, kde jsou na hřídeli namontována ložiska (obr. 1.14).



Obr. 1.14 Místa měření obvodového házení poškozeného hřídele.

Vlastní kontrolní měření bylo provedeno pomocí číselníkového úchylkoměru a magnetického stojánu. Během této kontroly byly zjištěny vysoké hodnoty obvodového házení, které za provozu soustrojí způsobovaly nepřijatelné vibrace. Naměřené hodnoty jsou zachyceny na následujících fotografiích (obr. 1.15 až 1.17). Výsledky měření obvodového házení hřídele jsou uvedeny v tabulce 1.2.



Obr. 1.15 Detail poškozeného hřídele (u spojky).



Obr. 1.16 Detail poškozeného hřídele (střed).



Obr. 1.17 Detail poškozeného hřídele (u oběžného kola).

Tab. 1.2 Přehled výsledků měření obvodového házení

Způsob ustavení hřídele při měření házení	Měřicí místo na hřídeli				
	1	2	3	4	5
Pod ložisky [mm]	-1,13	-0,83	+1,45	-1,85	-2,98
Mezi hroty [mm]	+0,05	+1,00	+3,65	+0,40	+0,05

1.4 Možné příčiny poruchy VZT jednotky

Jako příčina první závady vzduchotechnického soustrojí bylo poškození na povrchu funkčního průměru hnacího hřídele (obr. 1.18). Jednalo se o místo, kde je na hřídeli osazeno valivé ložisko. Toto poškození zřejmě vzniklo vlivem opotřebení během dlouholetého provozu soustrojí a mělo za následek vznik vůle mezi ložiskovým pouzdem a hřídelem. Vzniklá vůle pak zapříčinila zvýšené vibrace soustrojí při jeho provozu.



Obr. 1.18 Detail poškození hřídele.

1.4.1 Zbytková vnitřní napjatost v novém hřídeli

Odstranění této první závady bylo řešeno výrobou nového hřídele firmou, která smluvně zajišťuje údržbu zařízení příslušného technologického celku. Po vyrobení nového hřídele z normalizovaného hutního polotovaru proběhla rozměrová kontrola, která nezjistila nepřipustné odchylky od předepsaných tolerancí jednotlivých rozměrů dle výkresové dokumentace (příloha 13). Poté následovala zpětná montáž VZT soustrojí a jeho uvedení do zálohy.

Bezprostředně po realizaci opravy nebylo opět možné z provozních důvodů (narušení udržované hodnoty podtlaku v hermetických prostorách I.O.) odzkoušet chod VZT jednotky. Po uvedení VZT jednotky do provozu během další plánované odstávky reaktorového bloku vykazovala nepřipustné hodnoty vibrací viz protokol (příloha 8) a nebylo možné ji nadále provozovat.

Po diskuzi možných příčin nepřipustných hodnot vibrací jednotky, u které proběhla výměna hřídele, valivých ložisek a vyvážení oběžného kola, byla jako možná příčina určena zbytková vnitřní napjatost v materiálu hřídele po jeho vyrobení.



Obr. 1.19 Montáž nového hřídele.

1.4.2 Chyba při sestavování VZT soustrojí

Další příčinou deformace nového hřídele mohla být chyba při sestavování soustrojí. Vzhledem k rozměrům a hmotnostem jednotlivých komponent je podle zpracovaného technologického postupu opravy VZT jednotky nutné použít zdvihací zařízení (obr. 1.20). Hnací hřídel, který je poháněn elektromotorem má hmotnost 46,5 kg a oběžné kolo, které je osazeno na konci tohoto hřídele ve ventilátorové skříni má hmotnost 290 kg.



Obr. 1.20 Zdvihací zařízení použité při opravě.



Obr. 1.21 Demontáž komponent VZT jednotky.

Při nesprávné manipulaci s hřídelem a oběžným kolem pomocí zdvihacího zařízení (obr. 1.21) mohlo dojít k ohnutí nově vyrobeného hřídele. Dle vyjádření pracovníků realizační firmy nedošlo během sestavování jednotlivých součástí VZT soustrojí k takové manipulaci, které by mohla zapříčinit ohnutí hnacího hřídele.

Simulace zatížení hřídele VZT jednotky

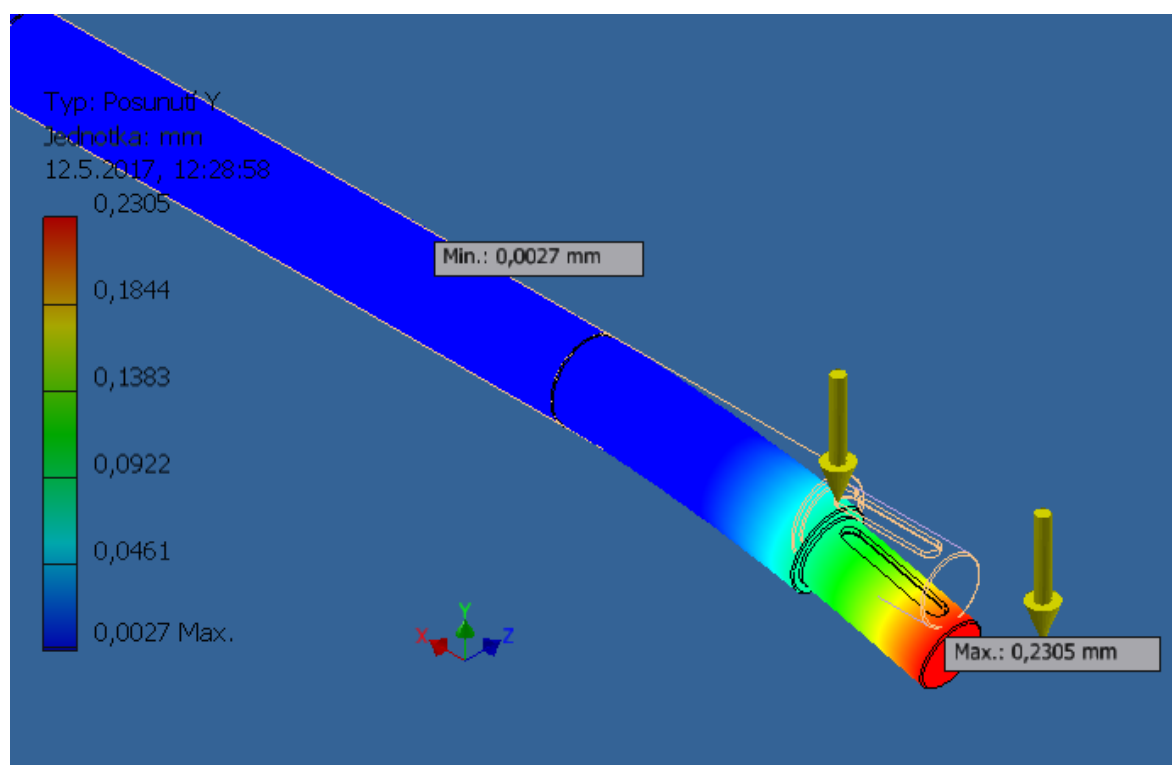
První výskyt zvýšených hodnot chvění VZT soustrojí P-4 byl detekován v průběhu GO 2. bloku v lednu 2016. Po ukončení GO v únoru 2016 byla provedena oprava soustrojí výrobou nového hnacího hřídele. Uvedení VZT jednotky do provozu proběhlo až v další plánované GO, která započala v září 2016.

Z uvedených skutečností vyplývá, že nově vyrobený hřídel byl po dobu cca 6 měsíců zatížen pouze prostým ohybem, a to působením váhy vlastního oběžného kola ventilátoru. Pro ověření možného vzniku deformací byl vytvořen výpočtový model v softwaru pro 3D kreslení Autodesk Inventor Professional 2015.

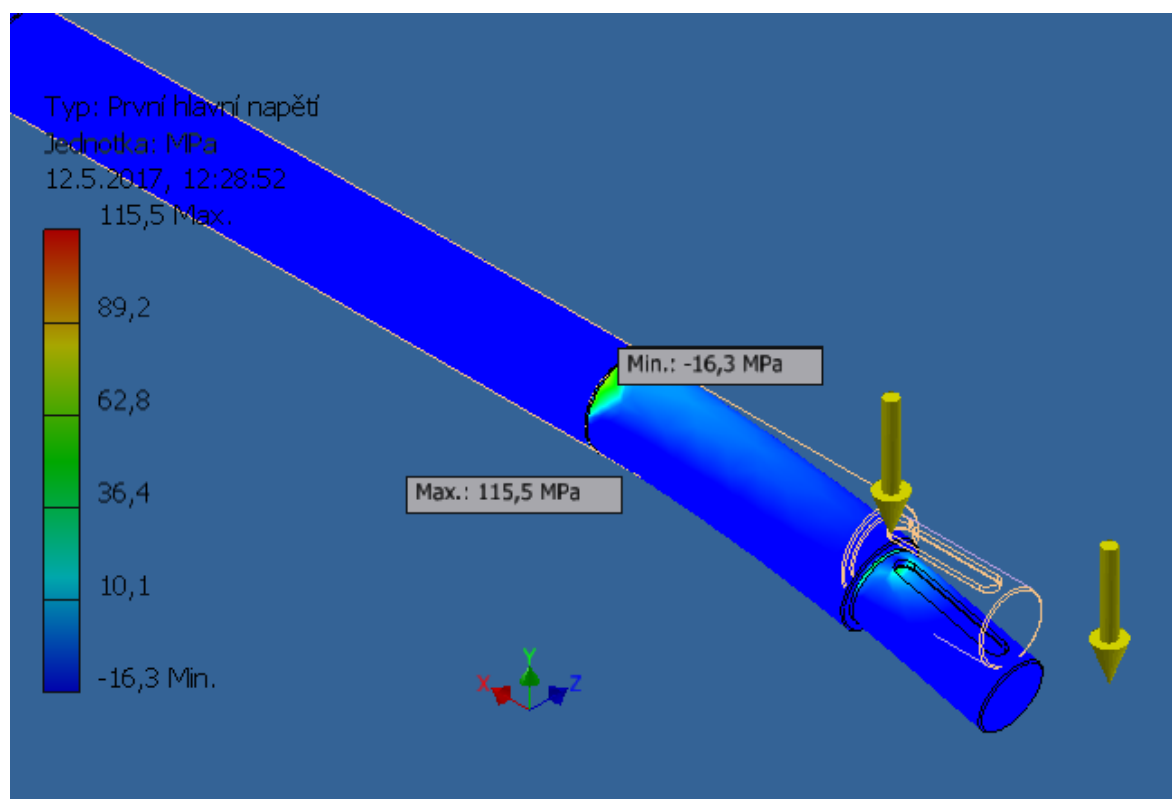
Cílem vytvoření výpočtového modelu zatížení hřídele bylo ověření velikosti vzniklých deformací a porovnání těchto hodnot s hodnotami naměřenými na ohnutém hřídeli (obr. 1.15 až 1.17), který byl demontován po opakované závadě VZT jednotky.

Do výpočtového modelu byly zadány parametry zatížení hřídele na ohyb dle obr. 1.24. Maximální hodnota posunutí konce zatíženého hřídele (obr. 1.22) byla simulací zatížení stanovena na 0,2305 mm.

Dalším výsledkem simulace zatížení bylo stanovení velikosti napětí. Maximální hodnota tohoto napětí, působící v místě uložení hřídele v ložisku (obr. 1.23) umístěného u oběžného kola ventilátoru, dosahuje hodnoty 115,5 MPa.

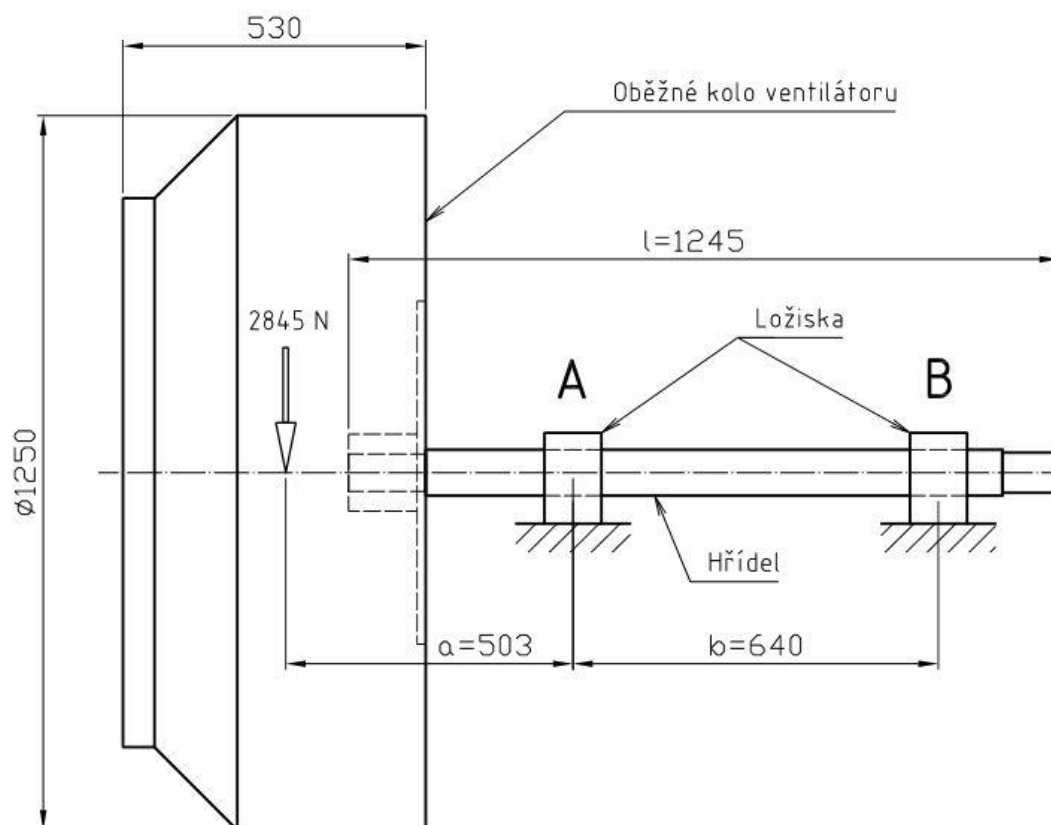


Obr. 1.22 Posunutí konce zatíženého hřídele Autodesk Inventor Professional 2015.



Obr. 1.23 Maximální napětí zatíženého hřídele Autodesk Inventor Professional 2015.

Pro porovnání a ověření hodnot maximálního napětí v materiálu hřídele získaného simulací situace v softwaru Autodesk Inventor Professional 2015 byl proveden kontrolní výpočet hřídele na prostý ohyb.



Obr. 1.24 Schematické znázornění zatížení hřídele VZT jednotky.

Pro výpočet tíhové síly vzniklé působením hmotnosti oběžného kola ventilátoru bylo využito vztahu (1.1):

$$F_{OK} = m_{OK} \cdot g \quad [\text{N}] \quad (1.1)$$

kde: F_{OK} [N] – tíhová síla hmotnosti oběžného kola,
 m_{OK} [kg] – hmotnost oběžného kola,
 g [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$] – tíhové zrychlení.

$$F_{OK} = 290 \cdot 9,81 = 2845 \text{ N}$$

Součet všech momentů k bodu A musí být roven nule podle vztahu (1.2):

$$F_{OK} \cdot a - F_A \cdot 0 + F_B \cdot b = 0 \Rightarrow F_B = F_{OK} \cdot \frac{a}{b} \quad [\text{N}] \quad (1.2)$$

kde: F_{OK} [N] – tíhová síla hmotnosti oběžného kola,
 F_A [N] – reakční síla v podpoře A,
 F_B [N] – reakční síla v podpoře B,
 a [mm] – vzdálenost,
 b [mm] – vzdálenost.

$$F_B = 2845 \cdot \frac{503}{625} = 2289,66 N$$

Součet všech sil působících v ose y musí být roven nule podle vztahu (1.3):

$$F_{OK} - F_A + F_B = 0 \Rightarrow F_A = F_{OK} + F_B \quad [N] \quad (1.3)$$

kde: F_{OK} [N] – tíhová síla hmotnosti oběžného kola,
 F_A [N] – reakční síla v podpoře A,
 F_B [N] – reakční síla v podpoře B.

$$F_A = 2845 + 2289,66 = 5134,66 N$$

Výpočet maximálního ohybového momentu podle vztahu (1.4):

$$M_{O_{\max}} = F_A \cdot a \quad [N \cdot mm] \quad (1.4)$$

kde: $M_{O_{\max}}$ [N·mm] – maximální ohybový moment,
 F_A [N] – reakční síla v podpoře A,
 a [mm] – vzdálenost.

$$M_{O_{\max}} = 5134,66 \cdot 503 = 2582733,98 Nmm$$

Stanovení průřezového modulu v ohybu podle vztahu (1.5):

$$W_{Oy} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad [mm^3] \quad (1.5)$$

kde: W_{Oy} [mm³] – průřezový modul v ohybu,
 d [mm] – průměr.

$$W_{Oy} = \frac{\pi \cdot 65^3}{32} = 26961,25 mm^3$$

Výpočet napětí v ohybu podle vztahu (1.6):

$$\sigma_{oy} = \frac{M_{Omax}}{W_{oy}} \quad [\text{MPa}] \quad (1.6)$$

kde: $\sigma_{oy}[\text{MPa}]$ – ohybové napětí v ose y,
 $M_{Omax} [\text{N} \cdot \text{mm}]$ – maximální ohybový moment,
 $W_{oy} [\text{mm}^3]$ – průřezový modul v ohybu.

$$\sigma_{oy} = \frac{2582733,98}{26961,25} = 95,79 \text{ MPa}$$

Výpočet minimálního průměru hřídele podle vztahu (1.7):

$$\sigma_{oy} = \frac{M_{Omax}}{W_{oy}} \leq \sigma_{OD} \Rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{Omax}}{\pi \cdot \sigma_{OD}}} \quad [\text{MPa}] \quad (1.7)$$

kde: $\sigma_{oy}[\text{MPa}]$ – ohybové napětí v ose y,
 $M_{Omax} [\text{N} \cdot \text{mm}]$ – maximální ohybový moment,
 $W_{oy} [\text{mm}^3]$ – průřezový modul v ohybu,
 $\sigma_{OD}[\text{MPa}]$ – ohybové napětí dovolené (pro ocel 11 600 jsou doporučené hodnoty v rozmezí 85 až 115 MPa).

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2782733,98}{\pi \cdot 85}} = 67,64 \text{ mm}$$

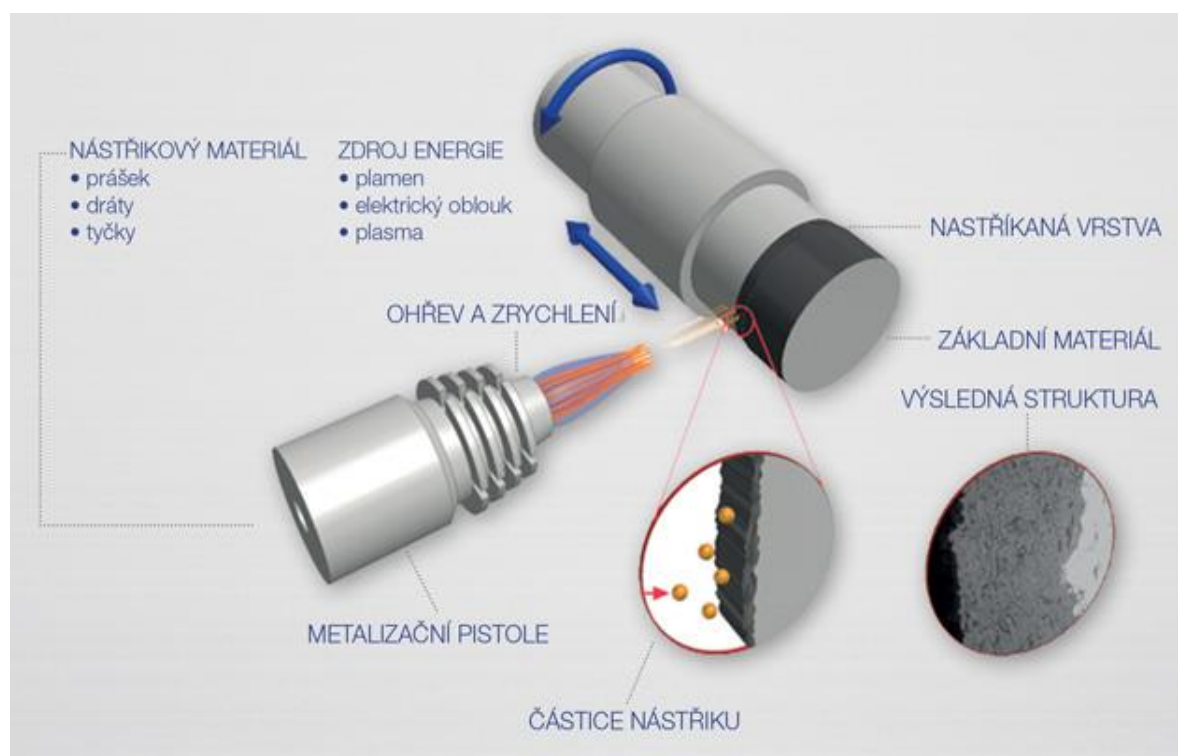
Pro výpočet minimálního možného průměru hřídele vzhledem k danému zatížení byla zvolena hodnota dovoleného napětí v ohybu σ_{OD} na spodní hranici doporučeného intervalu. Z výsledků simulace zatížení hřídele je patrné, že největší hodnota ohybového napětí je v místě uložení hřídele v ložisku u oběžného kola ventilátoru a v tomto místě má hřídel průměr 80 mm.

2 NAVRŽENÉ VARIANTY ŘEŠENÍ

Tato pasáž je zaměřena na prezentaci možných způsobů opravy poškozené součásti. Zvolený způsob opravy závady na vzduchotechnickém soustrojí musí zajistit dlouhodobý a bezporuchový provoz tohoto zařízení. Původní hřídel byl v soustrojí osazen již od výstavby jaderné elektrárny.

2.1 Oprava součásti pomocí žárového nástřiku

Za žárový nástřik se považuje takový technologický proces, který využívá vhodný zdroj tepla, jehož působením vzniknou roztavené nebo natavené částice přídavného materiálu, který může být ve formě drátu nebo prášku. Takto natavené částice přídavného materiálu jsou vhodným způsobem urychleny směrem k předem připravenému povrchu materiálu součásti (obr. 2.1), na který bude nanášen povlak s požadovanými vlastnostmi [11].



Obr. 2.1 Princip renovace součásti technologií žárového stříkání [12].

Tímto způsobem jsou připravovány povlaky o tloušťkách od 50 až do 3000 μm . Při realizaci silnějšího povlaku je třeba uskutečnit několik průchodů aplikačního zařízení. Žárové nástřiky představují perspektivní technologii, která poskytuje funkčně efektivní povlaky používané v mnoha odvětvích průmyslu [11, 13].

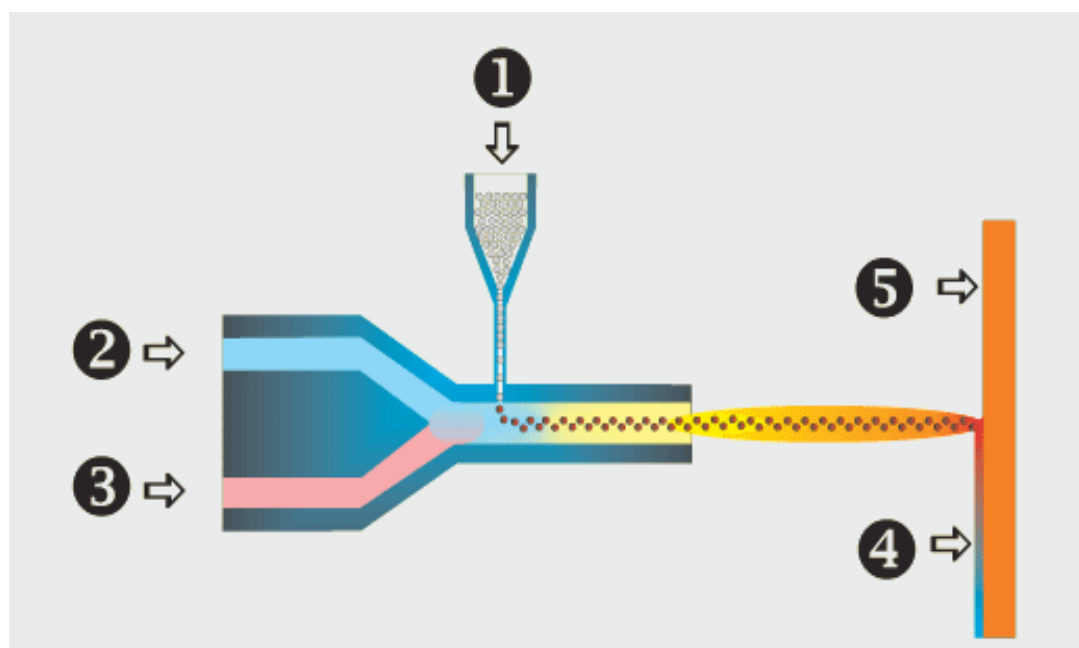
Využití technologie žárových nástřiků přináší nové možnosti do výroby nových součástí i renovace součástí již opotřebovaných provozem. Pomocí aplikace žárového nástřiku je možné zvýšit technické parametry, provozní spolehlivost a životnost výrobků [11, 13].



Obr. 2.2 Schéma základního rozdělení žárových nástřiků – podle [14].

2.1.1 Nástřik plamenem

Vývojově ukončená metoda je již využívána pouze na velmi specifické aplikace. Při srovnání s ostatními metodami technologie žárového stříkání mají tyto povlaky nejnižší hodnoty základních charakteristik (přilnavost, soudržnost apod.) i vysokou pórovitost vrstvy. U kovových povlaků se vyskytuje vysoké procento oxidů, které na jedné straně zvyšují tvrdost, na straně druhé ale snižují houževnatost, soudržnost povlaku a také jeho přilnavost. Při žárovém stříkání plamenem je možné použít přídavný materiál ve formě prášku, drátu nebo tyčinky [15, 16].



Obr. 2.3 Schéma nástřik plamenem [17], 1 – přídavný materiál (prášek), 2 – přívod kyslíku, 3 – přívod acetylénu, 4 – nástřik, 5 – podklad.

Výhody [17]:

- jednoduchost zhotovování vrstvy,
- široká škála přídavných materiálů,
- možnost vytvářet tenké i silné vrstvy přídavného materiálu,
- možnost navařovat hrany, malé a členité předměty,
- díky malým rozměrům hořáku lze provádět nástřik na hůře přístupných plochách,
- vysoká soudržnost se základním materiálem,
- nenáročná příprava podkladu.

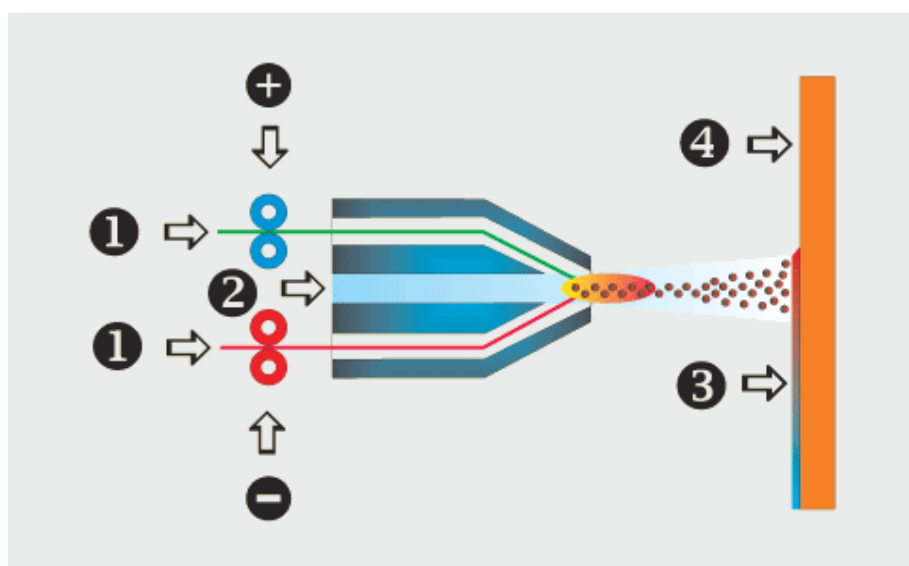
Nevýhody [17]:

- bez použití polohovadla nevhodné pro větší plochy z důvodu rovnoměrnosti vrstvy,
- vyšší prohřátí základního materiálu a tím vznik napětí a případné deformace.

2.1.2 Nástřik elektrickým obloukem ARC

Metoda nástřiku elektrickým obloukem je oproti metodě vysokorychlostního nástřiku HVOF ekonomicky méně náročná. Další výhodou je možnost stříkání větších tloušťek povlaku. Metoda se využívá především pro renovace strojních součástí [16, 18].

Při nástřiku elektrickým obloukem se taví přídavný materiál přicházející do nástřikové pistole ve formě dvou drátů. Pomocí proudu tlakového vzduchu se roztavený materiál urychluje a rozprašuje na připravený povrch strojního dílu. Dráty přídavného materiálu mohou být stejného nebo různého složení. Použitím dusíku nebo argonu jako rozprašovacího plynu lze omezit oxidaci takto nastříkané vrstvy [16, 18].



Obr. 2.4 Schéma nástřiku el. obloukem [18], 1 - přídavný materiál (drát), 2 - přívod vzduchu, 3 - nástřik, 4 – podklad.

Výhody [18]:

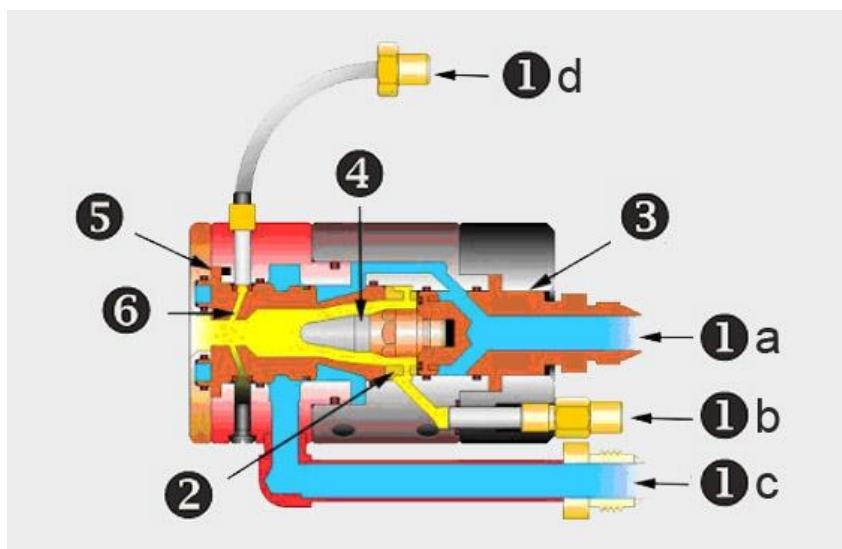
- produktivní metoda nástřiku,
- nízké ceny přídavných materiálů,
- široká škála přídavných materiálů (lze použít i materiály pro svařování),
- jednoduchý nástřik velkých ploch (ruční nanášení).

Nevýhody [18]:

- přídavný materiál musí být elektricky vodivý,
- vyšší pórovitost v nástřikové vrstvě (cca 20%),
- nižší soudržnost se základním materiálem součásti (lze omezit použitím tzv. mezivrstvy).

2.1.3 Plazmový nástřik APS

Plazmový nástřik APS patří mezi univerzální technologii vytváření vrstev pomocí žárového nanášení. Princip metody je založen na hoření elektrického oblouku mezi wolframovou katodou a válcovou měděnou anodou tvořící trysku. Elektrický oblouk hoří v plazmovém plynu, který je přiváděn do hořáku. Z hořáku vystupuje plazma s vysokou teplotou (až 2000 K). Do hořáku se pomocí nosného plynu přivádí přídavný materiál ve formě prášku. Prostřednictvím plazmových nástřiků lze aplikovat různé typy materiálu. Výhodou plazmového nástřiku je možnost aplikování keramických povlaků. Nevýhodou plazmového nástřiku oproti metodě vysokorychlostního nástřiku je malá soudržnost povlaku se základním materiálem a větší pórovitost [16, 19].



Obr. 2.5 Schéma plazmového nástřiku APS [19], 1a – vstup chladicí kapaliny / DC přívod (-), 1b – vstup plazmového plynu, 1c – vstup chladicí kapaliny / DC přívod (+), 1d – vstup prášku, 2 – plynový injektor, 3 – přidržovač katody, 4 – katoda, 5 – anoda, 6 – otvor pro výstup prášku.

Výhody [19]:

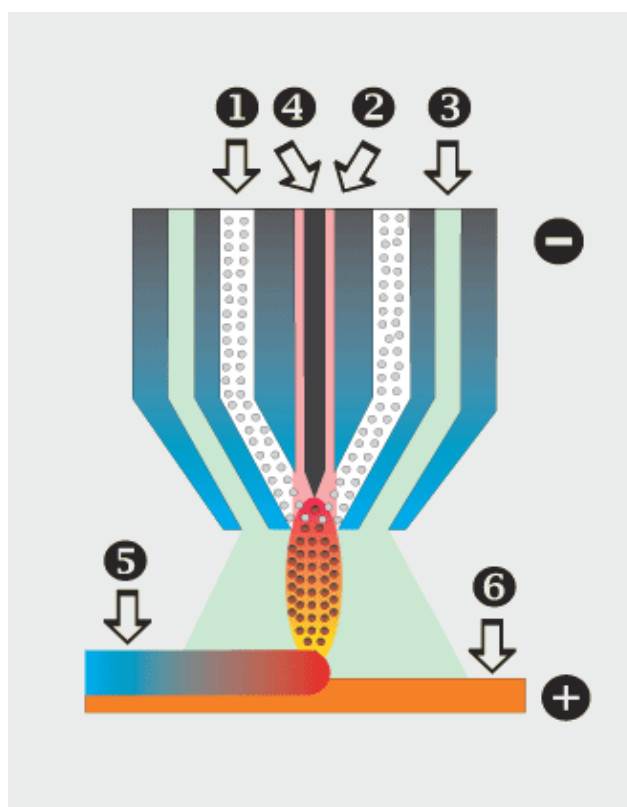
- možnost nanášení keramických povlaků,
- nízká pórovitost,
- nízké náklady,
- jednoduchý nástřik velkých ploch (ruční stříkání).

Nevýhody [19]:

- nižší soudržnost se základním materiálem,
- křehké chování,
- vyšší teplota během nástřiku.

2.1.4 Plazmové navařování PTA

Tato technologie patří mezi nejmodernější technologie navařování. Její podstatou je elektrický oblouk mezi wolframovou elektrodou a navařovaným materiálem. Při hoření elektrického oblouku vzniká z přiváděného inertního plynu argonu proud vysoce koncentrované plazmy. Do tohoto proudu se přidává materiál ve formě prášku, který tvoří návar [16, 20].



Obr. 2.6 Schéma plazmového navařování PTA [20], 1 – přídavný materiál (prášek), 2 – plazmový plyn (argon), 3 – ochranný plyn (dusík), 4 – wolframová elektroda, 5 – návar, 6 – podklad.

Výhody [20]:

- minimalizace tepelně ovlivněné oblasti základního materiálu vlivem úzké oblasti tavení,
- velmi tenká přechodová vrstva mezi základním materiálem a vlastním návarem cca $1 \div 2$ mm,
- použitím polohovacího zařízení lze vytvářet rovnoměrné vrstvy návaru a tím snižovat náklady za následné obrábění.

Nevýhody [20]:

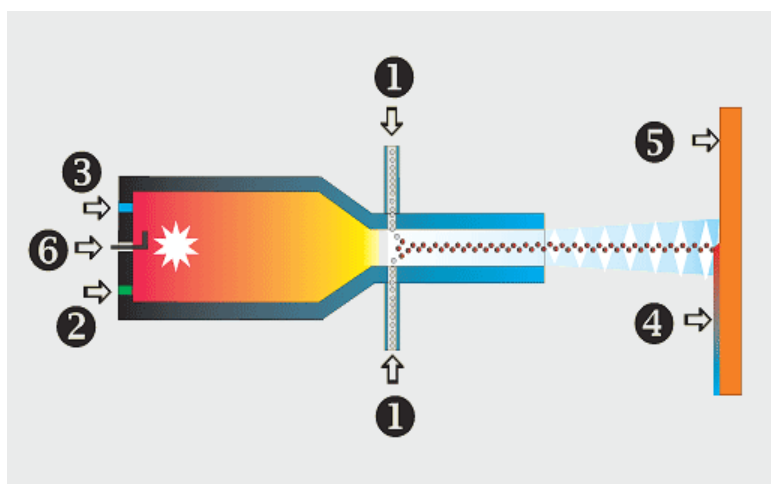
- přídavný materiál ve formě prášku je nejdražší formou přídavného materiálu ve srovnání s elektrodou nebo drátem.

2.1.5 Vysokorychlostní nástřík HVOF

Tato metoda je nejmodernější technologií v oblasti žárových nástříků, kde zdrojem tepelné energie je směs kyslíku a kerosinu. Kyslík a kerosin jsou přiváděny do spalovací komory, kde dojde k jejich atomizaci a zažehnutí jiskrou zapalovací svíčky. Spaliny jsou dále urychleny v trysce. Podmínky uvnitř spalovací komory jsou sledovány pro zajištění stabilních podmínek hoření a reprodukovatelnosti procesu. Hořák je ochlazován vodou, která proudí v meziplášti hořáku [16, 21].

Pomocí nosného plynu dusíku je přídavný materiál ve formě prášku přiváděn radiálně z protilehlých stran do tzv. difuzoru. Tam dochází k jeho natavení a přes trysku k výraznému urychlení směrem k povrchu, na který je aplikován nástřík [16, 21].

Teplota plamene cca 2600 °C předurčuje tuto metodu k nástříku kovů a jejich slitin s nízkou a střední teplotou tavení. Typickými materiály pro HVOF nástřík jsou cermety na bázi karbidů wolframu a chromu. Tato metoda je používána pro povlaky odolné proti opotřebení a korozi v různých prostředích [16, 21].



Obr. 2.7 Schéma vysokorychlostního nástříku HVOF [21], 1 – přídavný materiál (prášek), 2 – přívod kerosinu, 3 – přívod kyslíku, 4 – nástřík, 5 – podklad, 6 – zapalovací svíčka.

Výhody [21]:

- vysoká hustota nástřiku,
- vysoká soudržnost,
- nízká pórovitost a obsah oxidů,
- nízká teplota podkladu do 150 °C,
- tlakové napětí v nástřikové vrstvě,
- široký výběr prášků.

Nevýhody [21]:

- hlučnost (až 130 dB),
- nelze nanášet keramické povlaky,
- omezení pro nástřik vnitřních ploch.

2.2 Výroba nové součásti technologií třískového obrábění

Obrábění je technologický proces, při kterém je přebytečná část materiálu oddělována z obráběného předmětu v podobě třísky břitem řezného nástroje tak, aby bylo dosaženo požadovaného tvaru a rozměrů součásti [22].

Výroba součástí pomocí technologie třískového obrábění je jedna z významných výrobních metod strojírenské technologie. Používá se pro výrobu hotových kusů nebo výrobu nástrojů pro jiné výrobní technologie. Tento způsob výroby vychází ze specifického silového působení nástroje ve tvaru klínu na obráběný materiál [23].

Technologie třískového obrábění je nejrozšířenější metodou zpracování hutních polotovarů a zahrnuje metody jako je soustružení, vrtání, frézování, obrážení, hoblování a broušení [23].

3 VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY

Volba vhodného způsobu výroby náhradního dílu (hřídele vzduchotechnického soustrojí) musela zohledňovat několik hledisek. Vzhledem k již probíhající odstávce bloku bylo třeba co nejdříve obnovit větrání prostor, kde probíhaly opravy technologie jaderné elektrárny.

3.1 Legislativní omezení

Při provádění oprav technologie jaderné elektrárny je třeba dodržovat legislativu Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Níže jsou uvedeny závazné vyhlášky, které se vztahují na zařízení jaderné elektrárny z hlediska jakosti, technické bezpečnosti atd. Tato legislativa se přímo dotýká pouze některých vybraných zařízení a jejich částí.

3.1.1 Vyhláška 309/2005 sb

Vyhláška vydaná SÚJB, která stanovuje pravidla o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení [24].

Tato vyhláška upravuje:

- a) způsob určení vybraných zařízení, která jsou speciálně navrhována pro jaderná zařízení,
- b) technické požadavky k zajištění technické bezpečnosti vybraných zařízení při výrobě a za provozu,
- c) postupy pro posuzování shody vybraných zařízení, která jsou speciálně navrhována pro jaderná zařízení, s technickými požadavky a
- d) způsob zajištění technické bezpečnosti vybraných zařízení v provozu [24].

3.1.2 Vyhláška 132/2008 sb

Tato vyhláška pojednává o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd [25].

Tato vyhláška upravuje:

- a) požadavky na systém jakosti při provádění nebo zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie nebo radiačních činností,
- b) požadavky na náplň programu zabezpečování jakosti,
- c) kritéria pro zařazení a rozdělení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd,
- d) základní požadavky na zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd a
- e) rozsah a způsob provedení seznamu vybraných zařízení [25].

3.1.3 Normativně technické dokumentace A. S. I.

Asociace strojních inženýrů (A.S.I.) je dobrovolné stavovské sdružení, založené na vysoké odbornosti a osobních kvalitách svých členů, především strojních inženýrů [26].

Asociace byla založena v r. 1991 s cílem všestranně napomáhat rozvoji strojního inženýrství v České republice, zvyšovat úroveň našeho strojírenství rozvíjením a zdokonalováním znalostí všech strojních inženýrů a pomáhat jim v jejich odborných, vědeckých i pedagogických aktivitách [26].

NTD A.S.I. tvoří celek šesti Sekcí a jedné části „Zvláštní případy“. NTD A.S.I. se skládá z následujících částí [26]:

- I - Svařování zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER
- II - Charakteristiky materiálů pro zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER
- III - Hodnocení pevnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER
- IV - Výpočet zbytkové životnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER
- V - Zkoušky materiálů
- VI - Vzduchotechnické systémy jaderných elektráren typu VVER
- I-VI - Zvláštní případy

3.2 Výroba nové součásti

Výrobní postup pro zhotovení nového hřídele vzduchotechnického soustrojí byl navržen s ohledem na strojní vybavení mechanických dílen firmy. Pokud to bylo možné, byly použity obráběcí nástroje a výrobní pomůcky dostupné ve výdejně náradí.

V tabulce 3.1 je zpracován rámcový výrobní postup součásti.

Polotovary

Pro výrobu jednoho kusu součásti jako náhradního dílu je optimální zvolit normalizovaný polotovary (ocelovou tyč válcovanou za tepla). Rozměr normalizovaného polotovaru byl zvolen s ohledem na co nejmenší ztráty materiálu při výrobě.

Tepelné zpracování

Do výrobního postupu bylo zařazeno žíhání na snížení vnitřní napjatosti, která vznikla v součástech nebo polotovarech při předchozím tepelném zpracování, mechanickém opracování, svařování nebo nerovnoměrném chladnutí výrobků složitých tvarů a větších rozměrů [27].

Obráběcí stroje

Obráběcí stroje pro výrobu náhradního dílu byly zvoleny tak, aby celou výrobu bylo možné realizovat v podmínkách konkrétní firmy. Tato firma zabezpečuje údržbu a opravy provozního zařízení elektrárny.

Obráběcí nástroje a výrobní pomůcky

Nástroje a pomůcky potřebné ke zhotovení nové součásti byly zvoleny tak, aby byly dostupné ve výdejně náradí firmy a nebylo nutné objednávat žádné nové nebo speciální nástroje a pomůcky.

Výrobní postup

Tab. 3.1 Rámcový technologický postup pro výrobu nové součásti.

Číslo operace	Název stroje	Popis práce
10	Soustruh SU 63 H	Zarovnat první čelo a navrtat
20	Soustruh SU 63 H	Zarovnat druhé čelo a navrtat
30	Kontrola	Kontrolovat rozměry
40	Soustruh SU 63 H	Hrubovat tvar
50	Soustruh SU 63 H	Hrubovat tvar
60	Kontrola	Kontrolovat rozměry
70	Kooperace	Tepelně zpracovat
80	Kontrola	Kontrolovat rozměry
90	Soustruh SU 63 H	Soustružit konturu
100	Kontrola	Kontrolovat rozměry
110	Soustruh SU 63 H	Soustružit konturu
120	Kontrola	Kontrolovat rozměry
130	Soustruh SU 63 H	Soustružit konturu
140	Kontrola	Kontrolovat rozměry
150	Soustruh SU 63 H	Soustružit konturu
160	Kontrola	Kontrolovat rozměry
170	Bruska BUB 40 B	Brousit Ø65k6
180	Kontrola	Kontrolovat rozměry
190	Bruska BUB 40 B	Brousit Ø70k6
200	Kontrola	Kontrolovat rozměry
210	Frézka FGV 32	Frézovat drážky pro pera
220	Kontrola	Kontrolovat rozměry

3.3 Oprava původní součásti technologií žárového nástřiku

Ve spolupráci s firmou Plasmametal, spol. s r.o., která se specializuje na renovaci součástí pomocí technologie žárových nástřiků, byl připraven technologický postup opravy poškozeného hřídele posouzením součásti z hlediska její funkce v technologickém celku, tzn. velikost namáhání, pracovního prostředí a jejího materiálu.

3.3.1 Postup opravy

Firmou byl navržen rámcový postup, vhodná metoda žárového nástřiku a přídavný materiál. Detailní informace, které se týkají nastavení konkrétních parametrů použitého zařízení, jsou know-how firmy.

Přípravná část

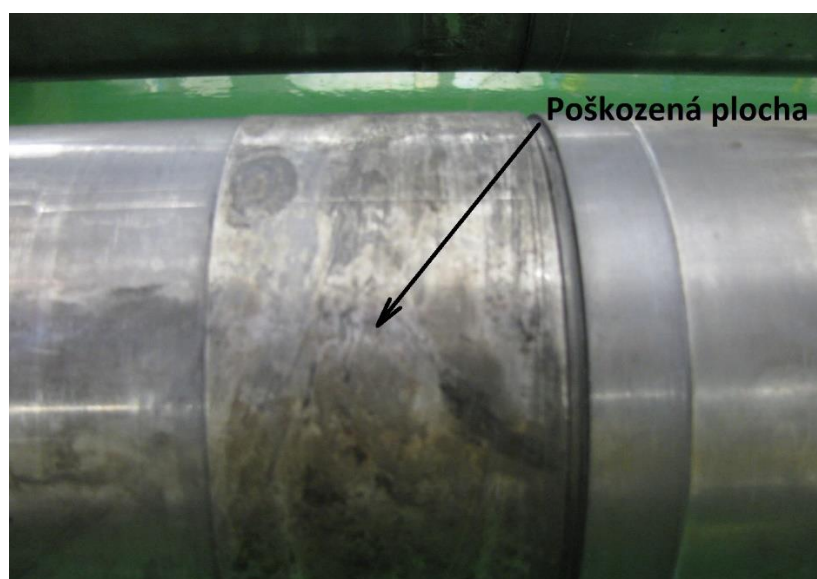
Po demontáži poškozeného hřídele a jeho transportu na připravené pracoviště je provedeno jeho očištění pro vizuální kontrolu. Pro očištění povrchu jsou používány běžně dostupné odmašťovací přípravky nebo líh.

Kontrola značení

Prvním krokem v této etapě je kontrola značení částí. Do dokumentace je nutné zaznamenat úplné původní značení částí pro zajištění jednoznačné identifikace součásti během opravy. V případě, že součást nemá původní značení, je nezbytné provést označení součásti evidenčním číslem. Značení se provádí raznicí, nebo elektrickou jiskrou na nefunkční ploše.

Vizuální kontrola

Tato kontrola se provádí se zaměřením na vady na funkčních plochách (obr. 3.1). Příпустné jsou drobné vady typu záseků, otlaků a rýh do hloubky 0,5 mm (mimo míst uložení těsnících prvků) začištěné tak, aby vyhrnutý materiál na okrajích vad nepřevyšoval profil okolního povrchu. Následně je proveden zápis všech nepřijatelných vad a poškození s vyznačením umístění, rozsahu a typu poškození do dokumentace.



Obr. 3.1 Detail části hřídele s poškozenou funkční plochou (ilustrační foto).

Rozměrová kontrola

Dalším krokem je provedení rozměrové kontroly dle příslušného výkresu součásti (házivost hřídele, tolerované rozměry).

Posouzení zjištěného stavu

Tato část spočívá ve vyhodnocení provedených vizuálních a rozměrových kontrol, posouzení zjištěných vad včetně posouzení jejich vlivu na technickou bezpečnost, stanovení možnosti opravy zjištěných vad, případně způsob uvedení částí do stavu vyhovujícího pro použití v dalším provozu.

Vyřazení součásti pro použití v dalším provozu

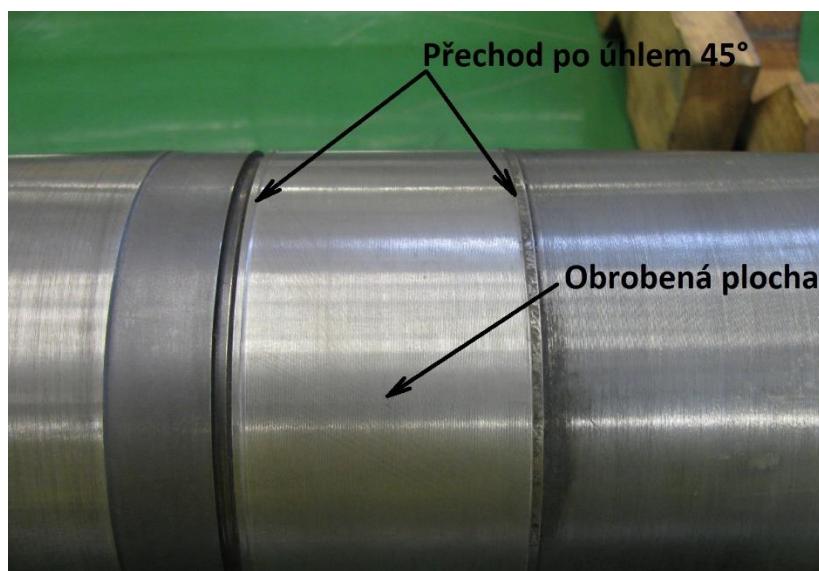
Součásti s vadami klasifikovanými jako neopravitelné metodou žárového nástřiku jsou pro použití v dalším provozu nevyhovující. Je sepsán záznam o kontrole s nevyhovujícím výsledky a součást je určena k uložení (likvidaci).

Výroba nových funkčních ploch žárovým nástřikem

Specifikace požadavků na výrobu ploch žárovým stříkáním.

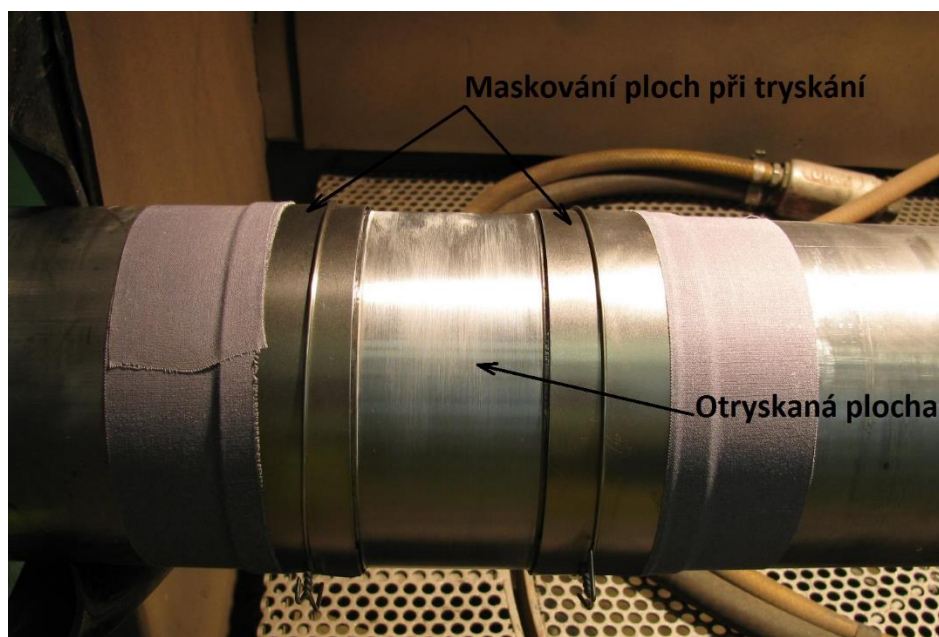
Příprava dílce pro žárový nástřik

Nejdříve je třeba odstranit původní vrstvu poškozeného základního materiálu (obr. 3.2) dle výkresové dokumentace pro přípravu dílce na žárové stříkání. Obvykle se odebírá vrstva o tloušťce $0,5 \div 1$ mm na průměru. Přesná velikost úběru se posoudí dle konkrétního rozsahu poškození součásti.



Obr. 3.2 Detail části hřídele po odstranění poškozeného základního materiálu (ilustrační foto).

Důležitým aspektem je vytvoření přechodu pod úhlem 45° (obr. 3.2) mezi původním a renovovaným povrchem. Po této operaci následuje maskování všech ploch (obr. 3.3), které by mohly být dotčeny vlastním nástřikem.

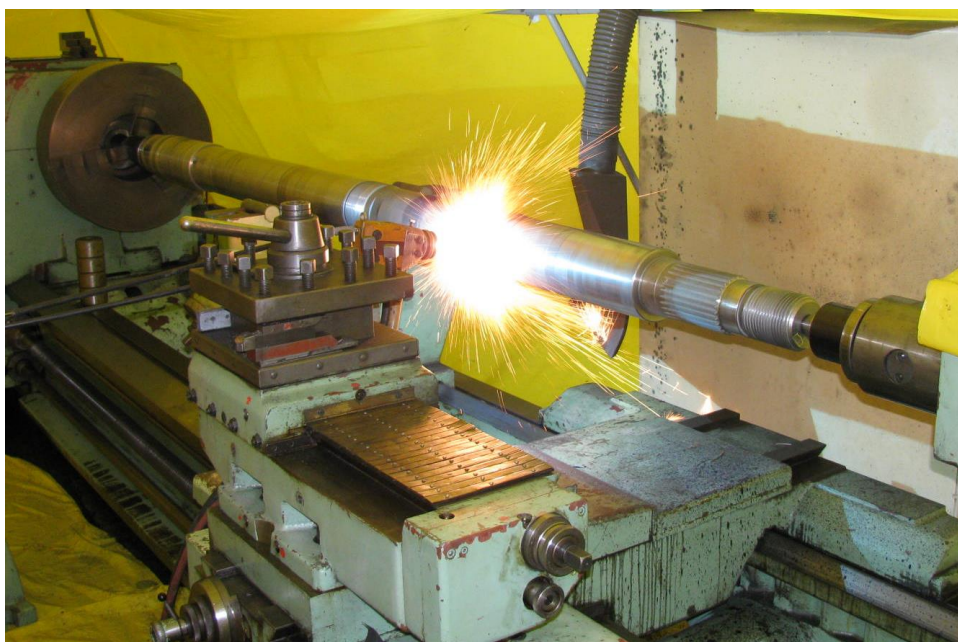


Obr. 3.3 Detail části hřídele s maskováním ploch po otryskání odstraněné vrstvy (ilustrační foto).

V dalším kroku je třeba připravit povrch před nanesením nové vrstvy materiálu. To spočívá v otryskání plochy, tak aby se výsledná struktura povrchu pohybovala v rozmezí $Ra = 6,3 \div 20 \mu\text{m}$. Tím se vytvoří vhodná struktura povrchu pro spojení s novým materiálem.

Provedení žárového nástřiku

V této operaci je realizován vlastní nástřik (obr. 3.4) zvolenou technologií předepsaným materiálem dle technického listu. Tuto operaci je nutné zahájit do 60 minut po otryskání součásti z důvodu vzniku koroze na očištěné části dílce způsobené vzdušnou vlhkostí.



Obr. 3.4 Provedení žárového nástřiku nové vrstvy (ilustrační foto).

Použitá technologie: Žárový nástřik elektrickým obloukem ARC

Materiál mezivrstvy: Metco 8448 – tento materiál je odolný proti korozi a má dobrou přilnavost k základnímu materiálu součásti [28]. Chemické složení materiálu je uvedeno v tabulce 3.2.

Tab. 3.2 Chemické složení přídavného materiálu Metco 8448 (příloha 14)

Chemické složení [%]								
C	Al	Cu	Mn	Si	S max.	Ti	Fe	Ni
0,01	0,1	0,02	0,4	0,3	0,002	3,2	0,1	95,8

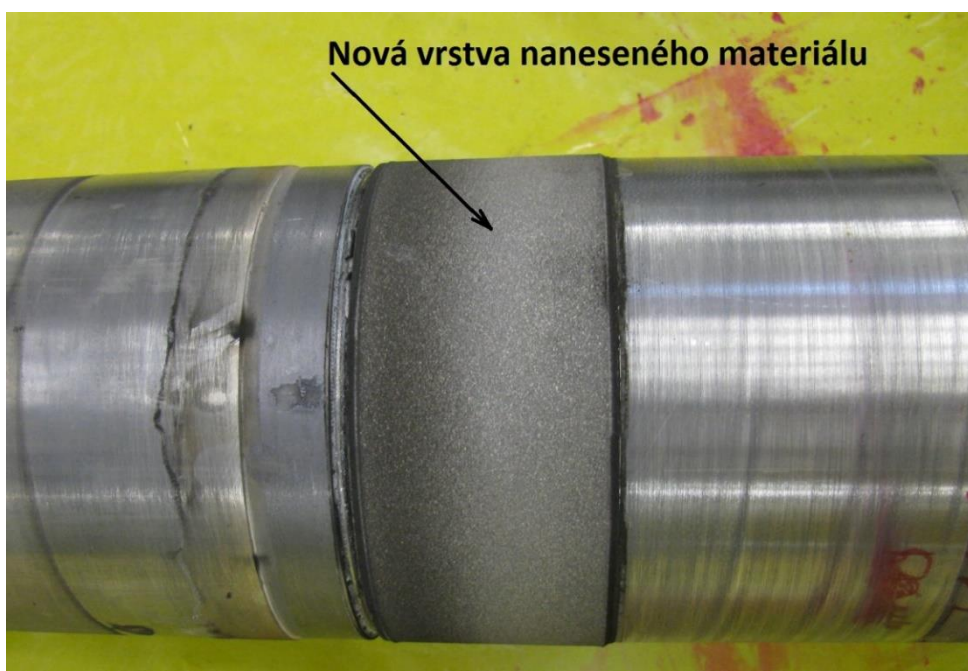
Materiál funkční vrstvy: GTV 50.17.6 – jedná se o materiál vhodný na opravy, který má vyšší tvrdost než základní materiál součásti. Chemické složení materiálu je uvedeno v tabulce 3.3.

Tab. 3.3 Chemické složení přídavného materiálu GTV 50.17.6 (příloha 15)

Chemické složení [%]												
C	Al	Cu	Mn	Si	S	Ti	Fe	Cr	Mo	B	P	N
0,333	0,031	0,029	0,581	0,074	0,009	0,031	rest	0,08	0,019	0,003	0,009	0,005

Vizuální kontrola dílce po žárovém nástřiku

Vizuální kontrola nastříkaných průměrů (obr. 3.5) je zaměřena především na kompaktnost a celistvost povlaku na hranách a jednotlivých přechodech. Nepřípustné vady jsou trhliny v povlaku a odchlípnutí povlaku především na hranách.



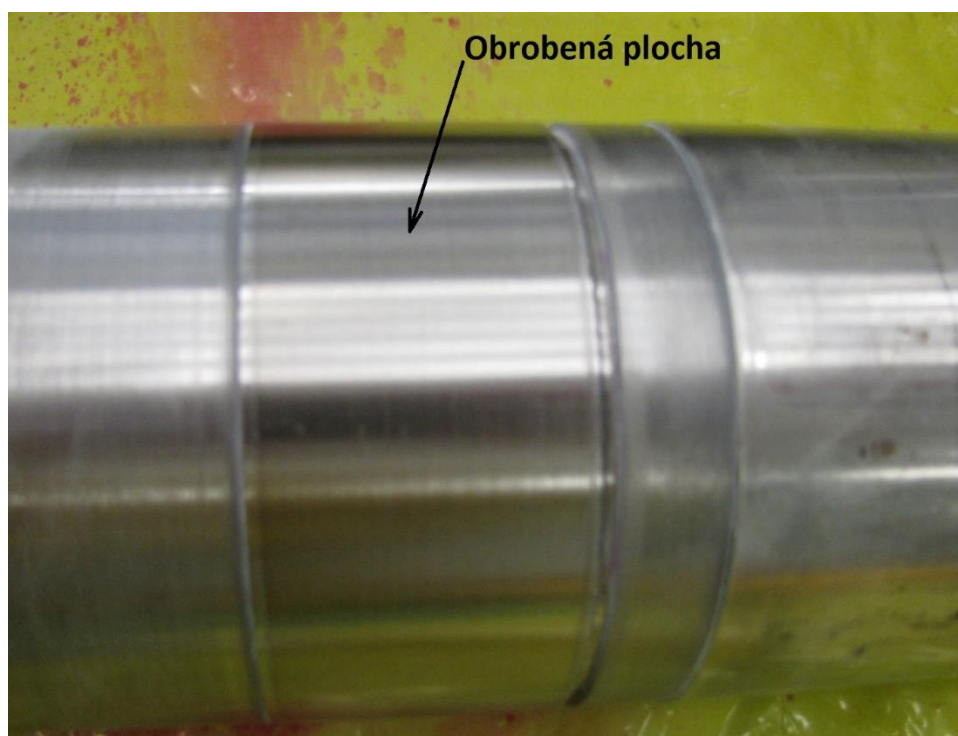
Obr. 3.5 Detail části hřídele po nanesení nového materiálu (ilustrační foto).

Rozměrová kontrola povlaku funkční vrstvy

Jedná se o provedení kontroly renovovaného průměru po žárovém nástřiku funkční vrstvy dle technického listu.

Opracování povlaku funkční vrstvy

Opracování (obr. 3.6) se provede dle dodané výkresové dokumentace se zaměřením na dodržení předepsaných úchylek tvaru, polohy a struktury povrchu.



Obr. 3.6 Detail části hřídele po opracování nově nanesené vrstvy (ilustrační foto).

Rozměrová kontrola dílce po opracování povlaku funkční vrstvy

Jde o kontrolu dle dodané výkresové dokumentace se zaměřením na dodržení předepsaných úchylek tvaru, polohy a struktury povrchu.

Vizuální kontrola dílce po opracování funkčního povlaku

Vizuální kontrola opracovaných průměrů je zaměřena především na kompaktnost a celistvost povlaku na hranách a jednotlivých přechodech. Nepřípustné vady jsou trhliny v povlaku a odchlípnutí povlaku především na hranách.

Kompletace technické dokumentace renovace součásti

Odběrateli je předána vytríděná a doplněná výstupní dokumentace renovované součásti.

4 TECHNICKÉ DETAILY VYBRANÉ VARIANTY

Jako prvotní příčina vzniku poruchy VZT jednotky byl po demontáži jednotlivých komponent určen poškozený hnací hřídel v oblasti uložení ložiska. Z důvodu nedostupnosti náhradního dílu byla zvolena varianta výroby nového hřídele technologií třískového obrábění.

V následujících podkapitolách jsou přiblíženy technické detaily této varianty. Je zde popsán návrh rozměru normalizovaného polotovaru a volba jeho materiálu. S ohledem na strojní vybavení dílen byl proveden výběr vhodných obráběcích strojů a nástrojů pro výrobu součástí dle aktuálních možností konkrétní firmy.

Podkapitola 4.5 obsahuje přepracovaný výrobní postup pro zhotovení nového hřídele. Je doplněn o operaci, ve které je provedeno tepelné zpracování částečně obrobené součásti.

4.1 Volba polotovaru

Pro výrobu jednoho kusu součásti je nejlepší volbou normalizovaný polotovar (ocelová tyč). Alternativním druhem polotovarů pro tento typ součásti mohou být odlitky nebo výkovky. Vzhledem k jednoduchému tvaru součásti a výrobě pouze jednoho kusu jako náhradního dílu, není tento typ polotovarů vhodný.

Všeobecnou zásadou při volbě polotovaru je dosažení maximálního využití jeho materiálu, aby odpad byl co nejmenší.

4.1.1 Materiál polotovaru

Z výrobní dokumentace původního hřídele bylo zjištěno, že byl vyroben z konstrukční oceli ČSN 41 1523 (ČSN EN 1.0553, EN ISO S355J2G3). Pro výrobu nového hřídele byla zvolena konstrukční ocel ČSN 41 1600 (ČSN EN 1.0060, EN ISO E335). Jedná se o materiál obdobných mechanických vlastností, dostupný ve skladu provozovatele jaderné elektrárny.

U konstrukčních ocelí tř. 11 obvyklých jakostí se zaručuje maximální obsah uhlíku. Protože však není omezena jeho spodní hranice a dodávají se převážně jako neuklidněné, nedoporučuje se používat je na zušlechťování, cementování a povrchové kalení. Používají se obvykle v přírodním stavu. U ocelí tř. 11 je nutno počítat s větší nerovnoměrností chemického složení, hlavně obsahu síry a fosforu. [29].

Tab. 4.1 Porovnání chemického složení ocelí [29, 30]

Značka	Chemické složení [%]						
	C max.	P max.	S max.	Mn max.	Si max.	N max.	Fe
11 523	0,25	0,030	0,030	1,60	0,55	0,012	rest
11 600	0,50	0,055	0,050	---	---	0,014	rest

Zvolená konstrukční ocel 11600 je používána na výrobu strojních součástí namáhaných staticky i dynamicky (hřídele, ozubená kola, strojní součásti soustružené, čepy, kolíky, podložky, příruby, pouzdra, základové desky, šrouby, matice, kladky, hrdla a pod) [31].

Tento materiál je dále využíván na výrobu kovaných a lisovaných součástí vystavených velkému tlaku (klíny, čepy, pastorky, šneky, vřetena lisů) a kovaných součástí tepelných energetických zařízení [31].

Tab. 4.2 Mechanické vlastnosti vybraných ocelí [31]

Značka	Mechanické vlastnosti		
	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Mez kluzu Re min [MPa]	Tvrdost HB
11523	520 ÷ 628	333	max. 274
11600	590 ÷ 705	295	max. 205

4.1.2 Rozměr polotovaru

Při volbě polotovaru pro výrobu náhradního dílu porouchané VZT jednotky byl zvolen normalizovaný polotovar. Jedná se o ocelovou tyč kruhovou válcovanou za tepla dle ČSN EN 10060.

Pro výpočet velikosti přídávku na průměr bylo využito empirického vztahu (4.1):

$$p = 0,05 \cdot d + 2 \text{ [mm]} \quad (4.1)$$

kde: p [mm] – přídavek na průměr,
 d [mm] – největší průměr obrobku.

$$p = 0,05 \cdot 80 + 2 = 6 \text{ mm}$$

Výsledný průměr polotovaru se určí dle vzorce (4.2):

$$D_p = d + p \text{ [mm]} \quad (4.2)$$

kde: D_p [mm] – průměr polotovaru,
 p [mm] – přídavek na průměr,
 d [mm] – největší průměr obrobku.

$$D_p = 80 + 6 = 86 \text{ mm}$$

Délka polotovaru byla určena dle vztahu (4.3). Přídavek na délku bývá stanoven ve velikosti $2 \div 4$ mm. Vzhledem k největšímu průměru součásti, který je 80 mm a přesnosti dělení materiálu, byl zvolen přídavek na délku polotovaru o velikosti 4 mm.

$$L_p = l_o + 4 \text{ [mm]} \quad (4.3)$$

kde: L_p [mm] – délka polotovaru,
 l_o [mm] – největší délka obrobku.

$$L_p = 1245 + 4 = 1249 \text{ mm}$$

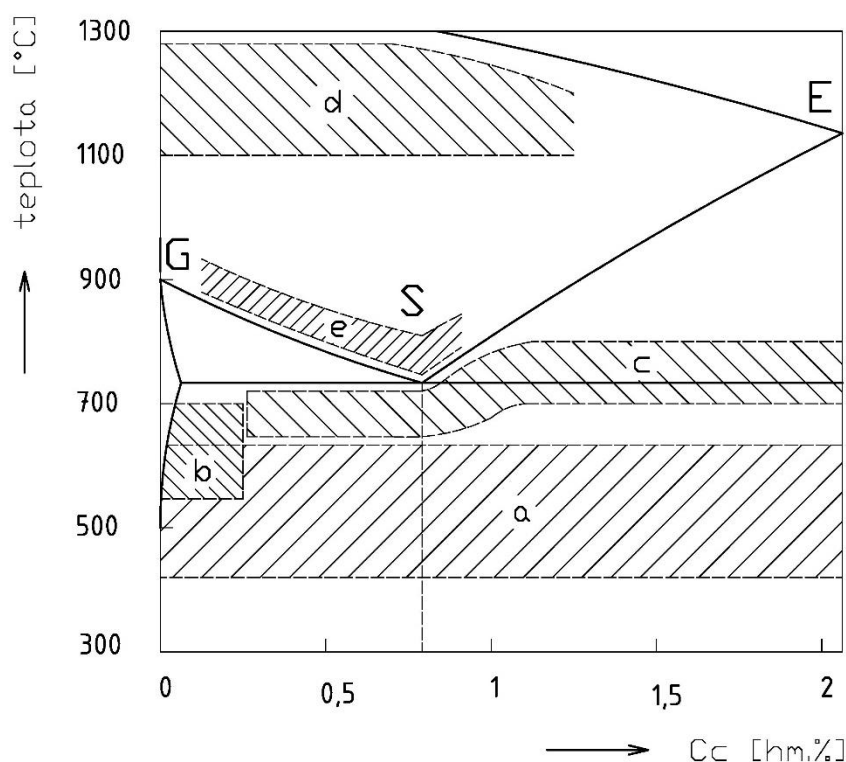
Konečný průměr polotovaru byl zvolen 100 mm, vzhledem k aktuální dostupnosti ve skladu hutního materiálu se jednalo o nejbližší vyšší normalizovaný průměr kruhové tyče válcované za tepla z požadovaného materiálu. Délka polotovaru je 1250 mm.

Rozměry zvoleného polotovaru jsou $\varnothing 100 \times 1250$ ČSN EN 10060.

4.2 Žihání

Žihání je druh tepelného zpracování, jehož cílem je dosažení rovnovážné struktury materiálu. Pro vlastní ohřev a výdrž na požadované žíhací teplotě jsou používány pece nebo lázně. Po ukončení výdrže na určené teplotě se součásti ochlazují pomalu na klidném vzduchu nebo v nevytápěné peci [26].

Struktura materiálu se po ukončeném pochodu blíží rovnovážnému stavu, takže je možno ji určit z rovnovážného diagramu [26].



Obr. 4.1 Schématické znázornění oblastí žíhacích teplot v diagramu Fe – Fe₃C [26], (žíhání: a – ke snížení pnutí, b – rekrytalizační, c – na měkko, d – homogenizační, e – normalizační).

4.2.1 Žihání ke snížení vnitřní napjatosti

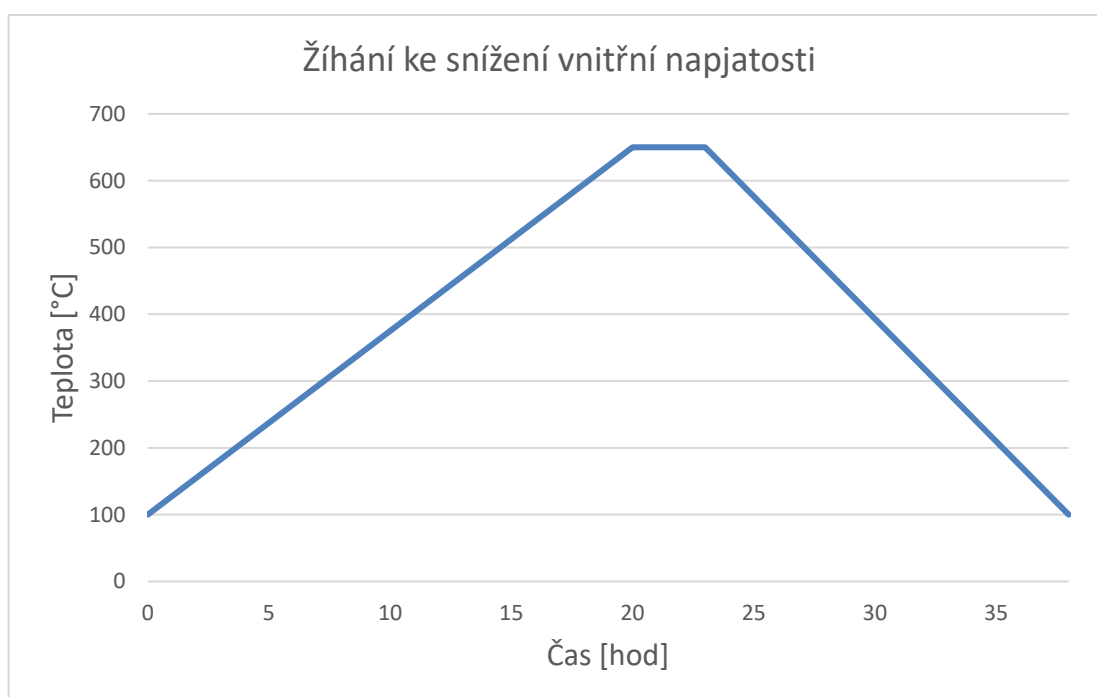
Účelem tohoto druhu tepelného zpracování je odstranit nebo snížit na minimum vnitřní napjatost, která vznikla v součástech nebo polotovarech při předchozím tepelném zpracování, mechanickém opracování, svařování nebo nerovnoměrného chladnutí výrobků složitých tvarů a větších rozměrů [26].

Žihání se provádí při teplotách $500 \div 650$ °C, tj. blízko teplotě A1, protože zůstatkové napjatosti v materiálu jsou tím menší, čím je vyšší teplota. Nesmí být ale tak vysoká, aby došlo k tepelnému rozpadu cementitu za vzniku grafitu. Vlastní ohřev na zvolenou teplotu výdrže a následné ochlazování z této teploty musí být pomalé, aby v důsledku rychlého chladnutí nevznikla další pnutí v materiálu [26].

Z důvodu minimalizace pravděpodobnosti vzniku deformace, ke které došlo u prvního vyrobeného kusu hřídele, bylo mezi obráběcí operace zařazeno žihání ke snížení vnitřní napjatosti. Vlastní proces tepelného zpracování byl řešen formou kooperace.

Součástí dokumentace dodané společně s tepelně zpracovaným hřídelem byl i zakázkový list se záznamem časového průběhu žihání pořízený zapisovačem elektrické pece. Údaje z časového průběhu žihání byly přeneseny do grafu (obr. 4.2).

Při žihacím procesu (ohřev, výdrž a ochlazování v peci), který trval cca 40 hodin, bylo dosaženo teploty 650 °C, která byla v peci udržována po dobu 3 hodin.



Obr. 4.2 Časový průběh žihání polotovaru.

4.3 Strojový park firmy

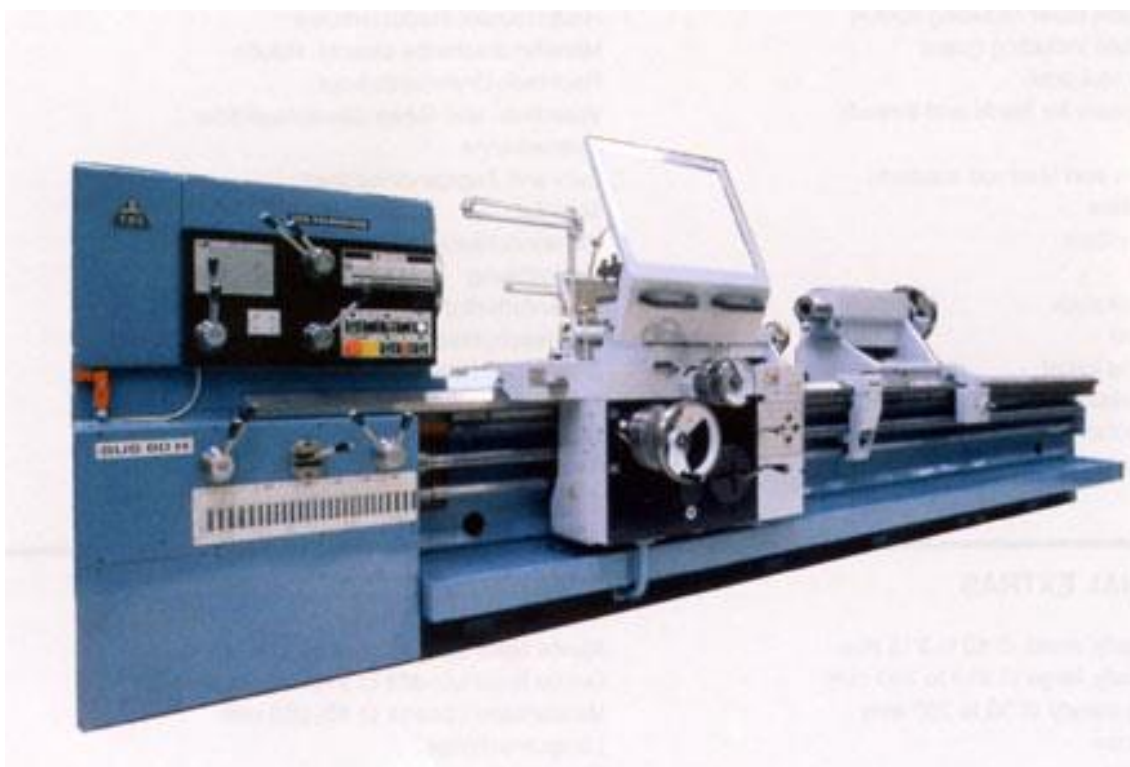
Technologie výroby součástí byla zvolena tak, aby byla přizpůsobena možnostem konkrétní firmy. Tato firma zabezpečuje údržbu a opravy provozního zařízení elektrárny. Mezi tato zařízení patří různá čerpadla, diesellové motory, kompresory, generátory, vzduchotechnické jednotky, elektrické pohony, uzavírací a regulační armatury atd.

Strojní vybavení mechanických dílen firmy je neposlední řadě také využíváno ke kooperační zakázkové výrobě. V rámci této činnosti jsou zhotovovány různé součásti převážně na konvenčních obráběcích strojích, jako jsou univerzální hrotové soustruhy, svislý soustruh, univerzální frézky, brusky (hrotové, na plocho i nástrojové), vrtačky (otočné i stolní), vodorovná vyvrtávačka, svařovací stroje atd.

4.3.1 Univerzální hrotový soustruh SU 63 H

Tyto soustruhy (obr. 4.3) jsou určeny jak pro hrubovací, tak i dokončovací operace. Umožňují řezání závitů a vyvrtávání na hřídelových a přírubových dílcích. Dovolují obrábění širokého sortimentu součástí až do hmotnosti 8 000 kg. Jsou vhodné pro kusovou a malosériovou výrobu [32].

Univerzálnost těchto strojů rozšiřuje velký rozsah zvláštního příslušenství a provedení. Koncepce strojů a konstrukční řešení splňuje požadavky kladené současnou technologií na obrábění s vysokou provozní spolehlivostí a trvalou přesností. Přehled základních technických parametrů soustruhu je uveden v příloze 16 [32].



Obr. 4.3 Univerzální hrotový soustruh SU 63 H [32].

4.3.2 Frézka konzolová FGV 32

Jedná se výkonnou produkční frézku (obr. 4.4) se svislým vřetenem, které je uloženo v naklápěcí vřetenové hlavě s výsuvnou pinolou. Na stroji je možno provádět širokou škálu frézovacích a vrtacích operací na obrobcích do hmotnosti 250 kg. Rozsah otáček vřeten a pracovních posuvů umožňuje hospodárné obrábění nejrůznějších druhů materiálů nástroji z rychlořezných ocelí (HSS) i nástroji osazených vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD). Základní technické parametry frézky jsou v příloze 16 [33].

Mezi hlavní přednosti tohoto stroje patří vysoká tuhost, geometrická přesnost, plynule nastavitelné posuvy ve všech 3 osách pomocí frekvenčního měniče, kalené vodící plochy a natáčivá vřetenová hlava s výsuvnou pinolou [33].



Obr. 4.4 Konzolová frézka FGV 32 [33].

4.3.3 Hrotová bruska BUB 40 B

Bruska tohoto provedení umožňuje broušení vnějších rotačních a kuželových ploch obrobků podélným nebo zapichovacím způsobem v ručním i automatickém režimu. Standardní provedení stroje zahrnuje čtyři základními programy (broušení zápichem, podélné broušení, postupné zápichové broušení na jeden průměr s následným podélným přebroušením a šest různých průměrů broušených zápichem s jedním technologickým zadáním) [34].

Tato bruska umožňuje také broušení čelních ploch a při použití zařízení pro vnitřní broušení také vnitřních válcových ploch a kuželových otvorů. Obrobky je možné upínat mezi hroty, letmo do sklíčidla, kleštin, případně na magnetickou upínací desku unášecího vřeteníku. Unášecí vřeteník, brousící vřeteník a vrchní stůl lze pro broušení kuželů natočit. Vybrané základní technické parametry brusky jsou uvedeny v příloze 16 [34].



Obr. 4.5 Hrotová bruska BUB 40 B [34].

4.4 Volba nástrojů

Obráběcí nástroj je výrobní prostředek, který slouží k odebírání materiálu z polotovaru za účelem dosažení požadovaných funkčních a užitných vlastností vyráběné součásti. Nástroje jsou ve strojírenské praxi používány na obrábění široké škály materiálů. Obráběcí nástroje rovněž pracují za rozmanitých podmínek, tj. počínaje jemným obráběním, přes obrábění dokončovací, až po těžké hrubování [35].

Z hlediska použití nástroje jsou rozeznávány nástroje komunální, které jsou vyráběny dle příslušných norem v centrálních výroбах na nářadí, a speciální, které jsou speciálně vyráběny pro danou operaci a obrobek ve vlastních nářadovných [35].

Nástroje potřebné pro výrobu nové součásti, byly z časových důvodů zvoleny tak, aby byly ihned dostupné ve výdejně nářadí a nebylo nutné objednávat žádné nové, nebo speciální nástroje. Mechanické dílny používají soustružnické nože od různých výrobců, ale největší podíl v zastoupení mají nástroje od firmy SANDVIK CZ, s.r.o.

Přehled zvolených obráběcích nástrojů použitých při výrobě nového hnacího hřídele vzduchotechnického soustrojí je uveden v tabulce 4.3.

Tab. 4.3 Přehled použitých nástrojů

Poz.	Operace	Držák / VBD	Výrobce	Materiál / Povlak	Znázornění
T1	Soustružení vnější	Držák: DSSNR 2525M15	SANDVIK	HSS	
		VBD: SNMG 15 06 12 - PM	SANDVIK	GC 4225	
T2	Soustružení vnější	Držák: DCLNR 2525M16	SANDVIK	HSS	
		VBD: CNMG 160612 - PM	SANDVIK	GC 4225	
T3	Soustružení závitů	Držák: R166.0KF – 10E - 11	SANDVIK	HSS	
		VBD: R166.0L – 1MM01 - 200	SANDVIK	GC 4125	
T4	Soustružení vnitřní	Držák: A12M – STFCR 11 – RB1	SANDVIK	HSS	
		VBD: TCMT 110312 - PR	SANDVIK	GC 4325	
T5	Středicí vrták	Středicí vrták 60° A100400V000S ČSN 221110	STIMZET	HSS	
T6	Vrtání	Vrták s kuželovou stopkou A401750F000S ČSN 221140	STIMZET	HSS	
T7	Zahlubování	Kuželový záhlubník HSS 120° C281231F000S ČSN 221628	STIMZET	HSS	
T8	Zahlubování	Kuželový záhlubník HSS 60° C280640F000S ČSN 221628	STIMZET	HSS	
T9	Zapichování	Držák: RF 123 F20 – 2020B	SANDVIK	HSS	
		VBD: N132F2 – 0300 - RM	SANDVIK	GC 4125	
T10	Broušení	Brusný kotouč 500x60x203,2 454A 80J10 V3	TYROLIT	Slinutý korund	
T11	Frézování	Fréza 2N342 – 1400 – PC1730	SANDVIK	HSS	

4.5 Výrobní postup

Původní technologický postup pro výrobu hřídele byl přepracován a doplněn o operaci tepelného zpracování (žihání na snížení vnitřní napjatosti) kvůli eliminaci vzniku deformace hřídele, která se projevila po opravě první poruchy VZT jednotky.

VUT v Brně, FSI, ÚST		VÝROBNÍ POSTUP		Název součásti:	HŘÍDEL	List: 1/3
Dne:	17. 2.2017	Vyhotovil:	Libor VESELÝ	Polotovár:	Ø100x1250	Název skupiny:
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:			Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:
Orientační:	Třídící číslo:					
10	SOUSTRUH SU 63 H 04137	OBROBNA	- UPNOUT ZA VNĚJŠÍ PRŮMĚR			UNIVERZÁLNÍ TRÍČELISTOVÉ SKLÍČIDLO
			- ZAROVNAT ČELO 1			T1
			- NAVRTAT STŘEDÍCÍ DŮLEK A4			T5
20	SOUSTRUH SU 63 H 04137	OBROBNA	- UPNOUT ZA VNĚJŠÍ PRŮMĚR			UNIVERZÁLNÍ TRÍČELISTOVÉ SKLÍČIDLO
			- ZAROVNAT ČELO NA L = 1247			T1
			- NAVRTAT STŘEDÍCÍ DŮLEK A4			T5
30	OTK	KONTROLA	- KONTROLOVAT ROZMĚRY, ČETNOST 100 % - L=1247			POSUVNÉ MĚŘÍTKO
40	SOUSTRUH SU 63 H 04137	OBROBNA	- UPNOUT MEZI HROTY			UPÍNACÍ DESKA, UNAŠECÍ SRDCE
			- SOUSTRUŽIT Ø82 L = 1120			T1
			- SOUSTRUŽIT Ø72 L = 100			T2
50	SOUSTRUH SU 63 H 04137	OBROBNA	- UPNOUT MEZI HROTY			UPÍNACÍ DESKA, UNAŠECÍ SRDCE
			- SOUSTRUŽIT Ø67 L = 135			T2
60	OTK	KONTROLA	- KONTROLOVAT ROZMĚRY, ČETNOST 100 % - Ø82; Ø72 L = 100; Ø67 L = 135			POSUVNÉ MĚŘÍTKO
70	KOOPERACE	KOOPERACE	- ŽIHÁNÍ KE SNÍŽENÍ VNITŘNÍ NAPJATOSTI			
80	OTK	KONTROLA	- KONTROLOVAT PO ŽIHÁNÍ, ČETNOST 100 % - OBOVDOVÉ HÁZENÍ HŘÍDELE			MAGNETICKÝ STOJÁNEK, ČÍSELNÍKOVÝ ÚCHYLKOMĚR
90	SOUSTRUH SU 63 H 04137	OBROBNA	- UPNOUT ZA VNĚJŠÍ PRŮMĚR			UNIVERZÁLNÍ TRÍČELISTOVÉ SKLÍČIDLO
			- ZAROVNAT ČELO 1			T1
			- VRTAT OTVOR Ø17,5 L = 53			T6
			- SOUSTRUŽIT Ø21 L = 12			T4
			- ZAHHLoubIT 60° L = 7			T8
			- ZAHHLoubIT 120° L = 2			T7
100	OTK	KONTROLA	- ŘEZAT ZÁVIT M20 L = 39			T3
			- KONTROLOVAT ROZMĚRY, ČETNOST 100 % - ZÁVIT M20 L=39, Ø21 L=12; ZAHHLoubENÍ 120° L=2; ZAHHLoubENÍ 60° L=7			ZÁVITOVÝ KALIBR, POSUVNÉ MĚŘÍTKO

VUT v Brně, FSI, ÚST		VÝROBNÍ POSTUP		Název součásti:		HŘÍDEL	List: 2/3
Dne:	17. 2.2017	Vyhotovil:	Libor VESELÝ	Polotovár:	Ø100x1250		Název skupiny:
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílňa:	Popis práce v operaci:			Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:	
Orientační:	Třídící číslo:						
110	SOUSTRUH SU 63 H 04137	OBROBNA	- UPNOUT ZA VNĚJŠÍ PRŮMĚR		UNIVERZÁLNÍ TRÍČELISTOVÉ SKLÍČIDLO		
			- ZAROVNAT ČELO L=1245		T1		
			- VRTAT OTVOR Ø17,5 L = 53		T6		
			- SOUSTRUŽIT Ø21 L = 12		T4		
			- ZAHHLOUBIT 60° L = 7		T8		
			- ZAHHLOUBIT 120° L = 2		T7		
			- ŘEZAT ZÁVIT M20 L = 39		T3		
120	OTK	KONTROLA	- KONTROLOVAT ROZMĚRY, ČETNOST 100 % - ZÁVIT M20 L=39, Ø21 L=12; ZAHLOUBENÍ 120° L=2; ZAHLOUBENÍ 60° L=7		ZÁVITOVÝ KALIBR, POSUVNÉ MĚŘITKO		
130	SOUSTRUH SU 63 H 04137	OBROBNA	- UPNOUT MEZI HROTY		UPINACÍ DESKA, UNAŠECÍ SRDCE		
			- SOUSTRUŽIT Ø80h9 L = 1010		T1		
			- SOUSTRUŽIT Ø80-0,6 L = 475		T1		
			- SOUSTRUŽIT Ø70.2 L = 100		T2		
			- SOUSTRUŽIT SRAŽENÍ 1,6X45° - 2X		T1		
			- SOUSTRUŽIT ZÁPICH B2,8/0,5 – 1X		T9		
140	OTK	KONTROLA	- KONTROLOVAT ROZMĚRY, ČETNOST 100 % - Ø80,3; Ø80-0,6 L = 475; Ø70.2 L=100; SRAŽENÍ 1,6X45°; ZÁPICH B2,8/0,5		POSUVNÉ MĚŘITKO		
150	SOUSTRUH SU 63 H 04137	OBROBNA	- UPNOUT MEZI HROTY		UPINACÍ DESKA, UNAŠECÍ SRDCE		
			- SOUSTRUŽIT Ø65,2 L = 135		T2		
			- SOUSTRUŽIT SRAŽENÍ 1,6X45° - 2X		T1		
			- SOUSTRUŽIT ZÁPICH B2,8/0,5 – 1X		T9		
160	OTK	KONTROLA	- KONTROLOVAT ROZMĚRY, ČETNOST 100 % - Ø65,2 L=135; SRAŽENÍ 1,6X45°; ZÁPICH B2,8/0,5		POSUVNÉ MĚŘITKO		
170	BRUSKA HOTOVÁ BUB 40 B 05533	OBROBNA	- UPNOUT MEZI HROTY		UNAŠECÍ KOTOUČ, UNAŠECÍ SRDCE		
			- BROUSIT Ø65k6 L = 135		T10		
180	OTK	KONTROLA	- KONTROLOVAT ROZMĚRY, ČETNOST 100 % - Ø65k6		MIKROMETR		
190	BRUSKA HOTOVÁ BUB 40 B 05533	OBROBNA	- UPNOUT MEZI HROTY		UNAŠECÍ KOTOUČ, UNAŠECÍ SRDCE		
			- BROUSIT Ø70k6 L = 100		T10		
200	OTK	KONTROLA	- KONTROLOVAT ROZMĚRY, ČETNOST 100 % - Ø70k6		MIKROMETR		

VUT v Brně, FSI, ÚST		VÝROBNÍ POSTUP		Název součásti:		HŘÍDEL	List: 3/3
Dne:	17. 2.2017	Vyhotovil:	Libor VESELÝ	Polotovár:	Ø100x1250		Název skupiny:
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílňa:	Popis práce v operaci:				Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:
Orientační:	Třídící číslo:						
210	FRÉZKA KONZOLOVÁ FGV 32 05223	OBROBNA	- UPNOUT				PRIZMATICKÝ SVĚRÁK
			- FRÉZOVAT DRÁŽKU NA PERO 18X110				T11
			- FRÉZOVAT DRÁŽKU NA PERO 20X90				
220	OTK	KONTROLA	- KONTROLOVAT VŠECHNY ROZMĚRY				POSUVNÉ MĚŘÍTKO, MIKROMETR

Pro operaci soustružení č. 50, broušení č. 170 a frézování č. 210 byly zpracovány operační návody viz přílohy 10, 11, 12.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

V technicko-ekonomickém zhodnocení jsou stanoveny celkové náklady vzniklé při výrobě nové součásti a porovnání těchto nákladů s cenou za renovaci poškozeného funkčního průměru původního hřídele vzduchotechnické jednotky.

5.1 Výroba nové součásti

Při výrobě jednoho kusu nového hřídele jako náhradního dílu se v podstatě jedná o výrobu prototypu. Stanovení spotřeby času na výrobu součástí, kdy se nejedná o opakovanou výrobu, nelze stanovit zcela jednoznačně. Jedním z ukazatelů mohou být strojní časy, které je možné stanovit výpočtem. Dalším hlediskem je porovnání spotřeby času s již dříve vyrobeným tvarově a rozměrově podobným dílcem.

5.1.1 Výpočet strojních časů při soustružení

Při stanovení jednotkového strojního času soustružnických obráběcích procesů se vychází z poměrů uvedených na obrázku č. 5.1.

Pro podélné soustružení válcové plochy (obr.5.1a) dle vztahu (5.1) platí:

$$t_{AS} = \frac{L}{n_o \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (5.1)$$

kde: t_{AS} [min] – jednotkový strojní čas,
 L [mm] – dráha nástroje,
 n_o [min^{-1}] – otáčky obrobku,
 f [mm] – posuv na otáčku.

Dráha nástroje ve směru posuvu je dána součtem jednotlivých složek dle vztahu (5.2):

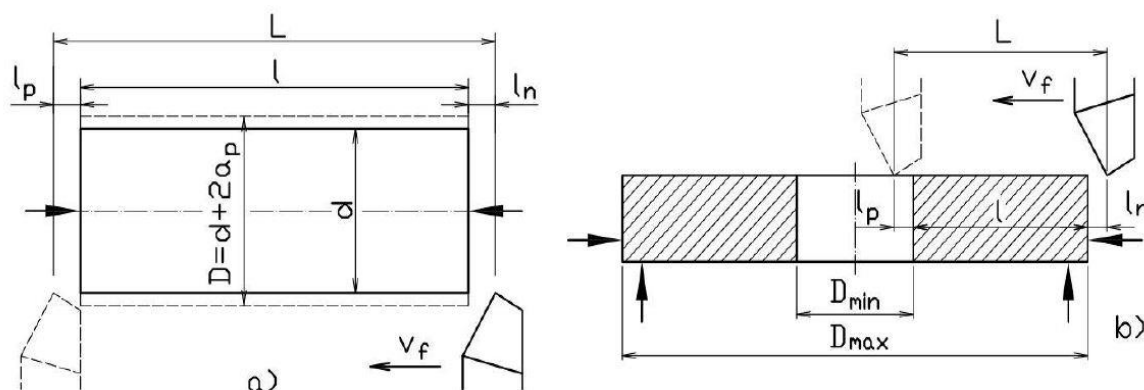
$$L = l + l_n + l_p \quad [\text{mm}] \quad (5.2)$$

kde: l [mm] – délka plochy,
 l_n [mm] – délka náběhu,
 l_p [mm] – délka přeběhu.

Pro výpočet otáček byl použit následující vztah (5.3):

$$n_o = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_o} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (5.3)$$

kde: n_o [min^{-1}] – otáčky,
 v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – řezná rychlost,
 D_o [mm] – průměr obrobku.



Obr. 5.1 Jednotkový strojní čas [36], a) podélné soustružení, b) čelní soustružení.

Pro soustružení čelní plochy (obr. 5.1b) se rozlišuje jednotkový strojní čas obrábění při konstantních otáčkách obrobku t_{ASn} a obrábění konstantní řeznou rychlostí t_{ASv} .

Dráha nástroje se pro poměry na obrázku č. 5.1b vypočítá podle vztahu (5.4):

$$L = \frac{[(D_{max} + 2 \cdot l_n) - (D_{min} - 2 \cdot l_p)]}{2} \quad [\text{mm}] \quad (5.4)$$

kde: L [mm] – dráha nástroje,
 D_{min} [mm] – minimální průměr obrábění,
 D_{max} [mm] – maximální průměr obrábění,
 l_n [mm] – délka náběhu,
 l_p [mm] – délka přeběhu.

Velikost jednotkového strojního času se pro poměry na obrázku č. 5.1b určí podle vztahu (5.5):

$$t_{ASv} = \pi \cdot \frac{[(D_{max} + 2 \cdot l_n)^2 - (D_{min} - 2 \cdot l_p)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (5.5)$$

kde: t_{ASv} [min] – jednotkový strojní čas,
 v_c [m.min⁻¹] – řezná rychlost,
 f [mm] – posuv na otáčku.

Příklad výpočtu t_{AS} při zarovnání čela nástrojem T1

Určení dráhy nástroje dle obrázku č. 5.1b a vztahu (5.4):

$$L = 50 + 2 + 0 = 117 \text{ mm}$$

Výpočet příslušných otáček podle vztahu (5.3):

$$n = \frac{325 \cdot 1000}{\pi \cdot 100} = 1035 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet jednotkového strojního času při konstantních otáčkách dle vztahu (5.1):

$$t_{AS} = \frac{52}{1035 \cdot 0,4} = 0,13 \text{ min}$$

5.1.2 Výpočet strojních časů při frézování

Stanovení jednotkového strojního času při frézování drážek stopkovou frézou vychází z poměrů uvedených na obrázku 5.2.

Pro frézování stopkovou frézou platí dle vztahu (5.6):

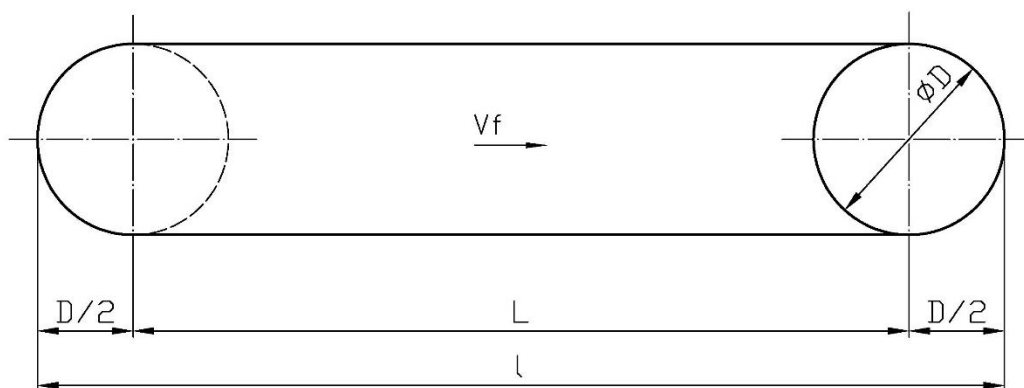
$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \text{ [min]} \quad (5.6)$$

kde: t_{AS} [min] – jednotkový strojní čas,
 L [mm] – dráha nástroje ve směru posuvového pohybu,
 v_f [mm·min⁻¹] – posuvová rychlost.

Dráha nástroje při frézování drážky pro pero (obr. 5.2) se vyjádří pomocí vztahu (5.7):

$$L = l - D \text{ [mm]} \quad (5.7)$$

kde: l [mm] – délka plochy,
 D [mm] – průměr frézy.



Obr. 5.2 Dráha frézy při frézování drážky pro pero.

Posuvová rychlost se vypočítá podle vztahu (5.8):

$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot z \cdot n_n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.8)$$

kde: v_f [mm·min⁻¹] – posuvová rychlost.

f [mm] – posuv na otáčku,

n_n [min⁻¹] – otáčky nástroje,

f_z [mm] – posuv na zub,

z [-] – počet zubů nástroje.

Příklad výpočtu t_{AS} při frézování drážky nástrojem T11

Určení dráhy nástroje dle obrázku 5.3 a vztahu (5.7):

$$L = 110 - 18 = 92 \text{ mm}$$

Výpočet posuvové rychlosti podle vztahu (5.8):

$$v_f = 0,05 \cdot 5 \cdot 1200 = 300 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Výpočet jednotkového strojního času dle vztahu (5.6):

$$t_{AS} = \frac{92}{300} = 0,31 \text{ min}$$

5.1.3 Výpočet strojních časů při broušení

Pro vnější obvodové axiální broušení do kulata, s radiálním posuvem stolu o hodnotu f_r na každý dvojzdvih zdvih stolu, bez vyjiskřování, se jednotkový strojní čas stanoví podle vztahu (5.9):

$$t_{as} = 2 \cdot \frac{l_a}{f_a \cdot n_w} \cdot \frac{p}{2 \cdot f_r} = \frac{l_a \cdot p}{10^3 \cdot v_{fa} \cdot f_r} \text{ [min]} \quad (5.9)$$

kde: f_a [mm] – axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku,

n_w [min⁻¹] – frekvence otáčení obrobku,

p [mm] – přídavek na průměr,

f_r [mm] – radiální posuv stolu brusky na jeden axiální zdvih stolu,

v_{fa} [m·min⁻¹] – axiální rychlost posuvu stolu brusky.

Otáčky obrobku při broušení do kulata se vyjádří vztahem (5.10):

$$n_w = \frac{v_w \cdot 1000}{\pi \cdot d_w} \text{ [min}^{-1}] \quad (5.10)$$

kde: n_w [min^{-1}] – otáčky obrobku,
 v_w [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – obvodová rychlost obrobku,
 d_w [mm] – průměr obrobku.

Axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku (5.11):

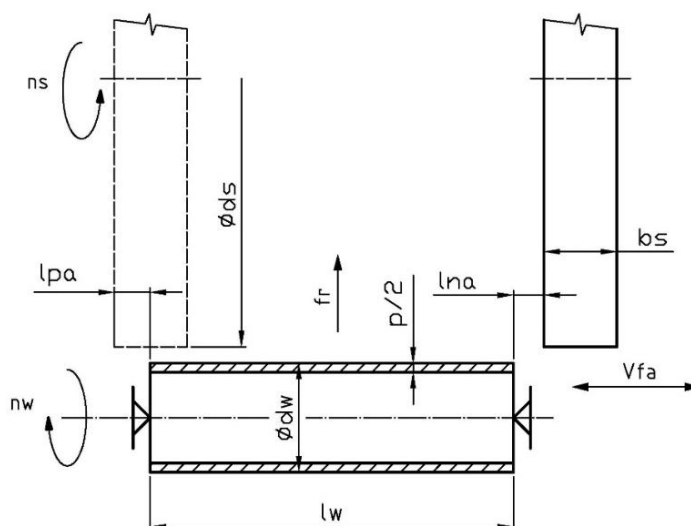
$$f_a = (0,2 \div 0,4) \cdot b_s \text{ [mm]} \quad (5.11)$$

kde: f_a [mm] – axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku,
 b_s [mm] – šířka brousícího kotouče.

Dráha pohybu stolu brusky v axiálním směru (5.12):

$$l_a = l_{na} + l_w + l_{pa} \text{ [mm]} \quad (5.12)$$

kde: l_a [mm] – dráha pohybu stolu brusky v axiálním směru,
 $l_{na} = 3 \text{ mm}$ – délka náběhu v axiálním směru,
 b_s [mm] – šířka brousícího kotouče,
 l_w [mm] – délka obrobku,
 $l_{pa} = l_{na} + b_s/2$ [mm] – délka přeběhu v axiálním směru.



Obr. 5.3 Obrázek pro výpočet jednotkového strojního času pro obvodové axiální broušení – podle [37].

Příklad výpočtu t_{AS} při broušení do kulata nástrojem T10

Určení dráhy nástroje dle obrázku 5.3 a vztahu (5.12):

$$L = 3 + 135 + 0 = 138 \text{ mm}$$

Axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku (5.11):

$$f_a = (0,2 \div 0,4) \cdot 60 = 0,3 \cdot 60 = 18 \text{ mm}$$

Otáčky obrobku při broušení do kulata se vyjádří vztahem (5.10):

$$n_w = \frac{20 \cdot 1000}{\pi \cdot 65} = 98 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet jednotkového strojního času při broušení do kulata dle vztahu (5.9):

$$t_{as} = 2 \cdot \frac{138}{18 \cdot 98} \cdot \frac{0,2}{2 \cdot 0,005} = 3,13 \text{ min}$$

5.1.4 Sumarizace strojních časů a výrobních nákladů

Řezné podmínky pro jednotlivé nástroje byly stanoveny na základě doporučených hodnot dle katalogů výrobců. Vždy byla vybrána buď přímo doporučená konkrétní hodnota, nebo střední hodnota z uvedeného intervalu, aby byla dodržena standardní 15minutová trvanlivost obráběcího nástroje.

Stejným způsobem dle příslušných vztahů byly spočítány všechny jednotkové strojní časy pro jednotlivé nástroje. Jejich přehled je uveden v tabulce 5.1.

Tab. 5.1 Přehled dosažených strojních časů

Číslo operace	Popis práce	Strojní čas t_{AS} [min]
10	Soustružení prvního čela	0,23
20	Soustružení druhého čela	0,23
40	Soustružení tvaru s přídavkem	7,93
50	Soustružení tvaru s přídavkem	2,75
90	Soustružení tvaru čisto	1,28
110	Soustružení tvaru čisto	1,31
130	Soustružení tvaru čisto	4,21
150	Soustružení tvaru čisto	4,26
170	Broušení Ø65k6	3,08
190	Broušení Ø70k6	2,29
210	Frézování drážek na pero	20,24
Σt_{AS}		47,86

Celková kalkulace nákladů na výrobu nového hřídele se skládá z ceny materiálu normalizovaného polotovaru, nákladů na tepelné zpracování částečně obrobené součásti a nákladů na vlastní výrobu. Náklady na vlastní výrobu jsou vyčíslených na základě celkového času potřebného na zhotovení součásti.

Protože se jedná o kusovou výrobu, při které nelze předem přesně určit spotřebu času jako při sériové výrobě, byl nejdříve proveden odhad času potřebného na výrobu nového hřídele. Tento odhad byl proveden na základě porovnání nově vyráběné součásti se součástmi tvarově a rozměrově podobnými, které firma již dříve vyráběla.

V tabulce 5.2 je uveden přehled jednotlivých nákladových položek včetně jejich součtu. Celková výše nákladů na opakovanou výrobu nového hřídele byla vyčíslena na 8 128,- Kč bez DPH.

Tab. 5.2 Kalkulace nákladů na výrobu hřídele

Položka	Počet jednotek	Cena za jednotku	Cena
Materiál polotovaru	80 kg	8,60 Kč	688 Kč
Žihání polotovaru ke snížení vnitřního napjatosti	---	---	744 Kč
Výroba součásti	18 hodin	372 Kč	6696 Kč
Σ Kč			8128 Kč

5.2 Renovace hřídele

Ve spolupráci s firmou Plasmametal, spol. s r.o. byla navržena renovace poškozené části hřídele pomocí technologie žárového nástřiku. Na základě posouzení součásti z hlediska její funkce v technologickém celku (velikost namáhání, pracovní prostředí a materiálu součásti) byla zvolena metoda žárového nástřiku elektrickým obloukem. Jedná se o nejlevnější metodu žárového nástřiku, renovovaná plocha není ve styku s žádnou agresivní látkou, není vystavena abrazi ani jinému zvýšenému namáhání.

Pro vytvoření mezivrstvy byl zvolen materiál s obchodním názvem Metco 8448. Ve firmě Plasmametal, spol. s r.o. se jedná o standardně používaný přídavný drát pro mezivrstvu. Tento materiál je odolný proti korozi a má dobrou přilnavost k základnímu materiálu součásti.

Pro nanesení funkční vrstvy byl použit materiál s obchodním názvem GTV 50.17.6. Jedná se o materiál vhodný na opravy a dosahuje tvrdosti cca 40 HRC. Oproti základnímu materiálu je jeho tvrdost vyšší.

Dle zpracované cenové nabídky činí náklady na opravu hřídele 4.260,- Kč bez DPH. Cena je včetně opracování před a po nástřiku a regulace středících důlků.

6 DISKUZE

O způsobu realizace oprav zařízení jaderné elektrárny rozhoduje především kategorizace dotčeného zařízení. Při opravách technologie jaderné elektrárny to v praxi znamená, jednoznačné stanovení kategorizace dotčeného zařízení včetně jeho jednotlivých komponent, které podléhají legislativě SÚJB a to především vyhlášce 309/2005 Sb o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení.

6.1 Renovace poškozené součásti

Mimo opětovného získání funkčních vlastností je v renovaci zahrnuto i zlepšení původních parametrů před poškozením součásti. Renovace zvyšuje odolnost komponent v existujících podmínkách a tím prodlužují jejich životnost [38].

Efektivita oprav strojních součástí pomocí žárových nástřiků se pohybuje do cca 70 % ceny nového náhradního dílu a závisí na celé řadě faktorů, jako jsou [14]:

- cena a dostupnost náhradního dílu,
- složitost výroby,
- dostupnost potřebných výrobních zařízení,
- rozsah zjištěných defektů,
- nutnost dokončovacích operací,
- cena přídatných materiálů.

Zásadním předpokladem zdárně provedené renovace je správnost určení druhu opotřebení, vlivu okolního prostředí a pracovních podmínek. Z analýzy těchto faktorů vzejde návrh odpovídající technologie žárového nástřiku a volba příslušného přídatného materiálu [14].

6.2 Výroba nové součásti

Pro představu jsou na obrázku 6.1 vyobrazeny opotřebené hřídele, které byly součástí vzduchotechnických jednotek menšího výkonu. V těchto případech by náklady vynaložené na renovaci poškozené části hřídele technologií žárového nástřiku byly srovnatelné s cenou nové součásti.

Při renovaci součásti vždy záleží na individuálním posouzení každé součásti z hlediska rozsahu poškození a nákladů na renovaci. V případě, že by byla poškozena i druhá funkční část na hřídeli v místě ložiska, by se náklady vynaložené na opravu obou ploch vyrovnaly nákladům na výrobu nového hřídele.

Při porovnání nákladů na renovaci a výrobu nové součásti je zřejmé, že výroba nového dílu se jeví jako výhodnější v případě, že se jedná z hlediska náročnosti výroby o tvarově jednoduchou součást zhotovenou z běžně dostupných konstrukčních materiálů.



Obr. 6.1 Detail poškození hřídelů.

6.3 Reklamace nového hřídele

Z důvodu nutnosti zahájení větrání hermetických prostor I.O. v co nejkratším možném čase při probíhajících opravách technologie, byla opakovaná porucha VZT jednotky, jejíž příčinou byl ohnutý hřídel, řešena opět výrobou nového hřídele. Na provedenou opravu byla uplatněna reklamacie u realizační firmy.

Při porovnání nákladů vynaložených na opravu původního hřídele technologií žárového nástřiku a výrobu nového hřídele technologií třískového obrábění je patrné, že oprava původního hřídele je takřka o polovinu levnější.

6.4 Vliv tepelného zpracování

Po diskuzi možných příčin nezdařené opravy VZT soustrojí bylo před vlastní obráběcí operace zařazeno tepelné zpracování zvoleného polotovaru. Pro minimalizaci vzniku deformace hřídele po jeho vyrobení byl polotovar žíhán pro odstranění vnitřní napjatosti. Po tomto tepelném zpracování následovala vlastní výroba hřídele dle navrženého technologického postupu a následná zpětná montáž VZT jednotky.

Po ukončení činností na sestavení VZT jednotky a příprav k odzkoušení bylo soustrojí uvedeno do provozu za přítomnosti pracovníků provozu a realizační firmy. Po spuštění jednotky a dosažení nominálních otáček soustrojí byla provedena obhlídka soustrojí, při které nebyly zjištěny nežádoucí vibrace.

Následující den bylo provedeno měření chvění soustrojí pracovníky oddělení diagnostiky točivých strojů pomocí měřicího přístroje. Toto měření nezaznamenalo přítomnost zvýšených hodnot chvění soustrojí a na základě naměřených hodnot byl vystaven kontrolní protokol (příloha 9) s celkovým hodnocením A, což je stav VÝBORNÝ.

Při způsobu realizace opravy VZT jednotky výrobou nového hřídele z normalizovaného polotovaru, který byl nejdříve tepelně zpracován (žhánání pro odstranění vnitřní napjatosti), nedošlo k jeho deformaci jako v případě první opravy, kdy zvolený polotovar nebyl tepelně zpracován.

6.5 Úspora při opravě hřídele čerpadla surové vody

Při opravách poškozených součástí zařízení, které jsou součástí technologie jaderných elektráren, lze dosáhnout značných úspor. Zejména pokud toto zařízení podléhá vyhláškám SÚJB, kdy jsou na výrobu náhradních dílů kladeny vysoké požadavky z hlediska prokazování původu použitého materiálu a dodržení jakosti při výrobě.

Na obrázku 6.2 je čerpadlo, které je součástí čerpací stanice surové vody JE Temelín. Stanice zajišťuje čerpání surové vody nutné pro provoz technologického zařízení elektrárny. Voda je odebírána z nádrže vodního díla Hněvkovice, u jehož hráze je ČS postavena. Technologická voda je dopravována dvěma vzájemně zaměnitelnými potrubními trasami z ocelových potrubí DN 1600 o délce 5 839 m, uložených v zemi [39].



Obr. 6.2 Čerpadlo A600 - HVBW [40].

Vybrané komponenty tohoto čerpadla včetně hřídele (obr. 6.3) podléhajícího vyhlášce 132/2008 Sb. o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd.



Obr. 6.3 Hřídel čerpadla A600 - HVBW před renovací [41].

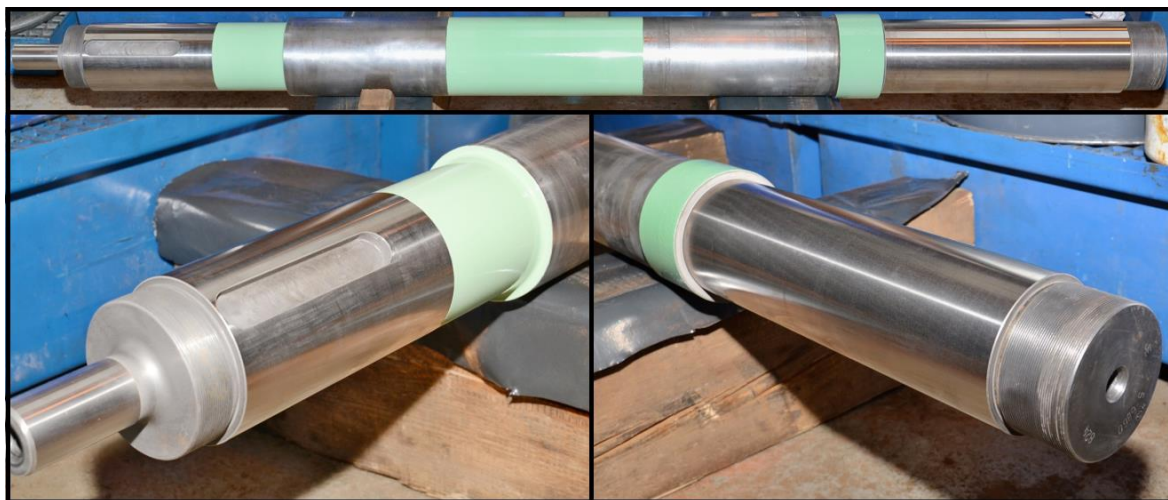
Pro představu o velikosti jsou v tabulce 6.1 uvedeny základní technické parametry čerpadla, jehož hřídel byl renovován technologií žárového nástřiku. Samotný hřídel má délku 2160 mm a hmotnost 260 kg. Hřídel je několikrát osazen a v hydraulické části čerpadla je uložen v kluzném ložisku, které je mazané čerpanou kapalinou.

Tab. 6.1 Technické parametry čerpadla surové vody JE Temelín [39].

Čerpadlo 0GAF1P1	
TECHNICKÝ POPIS ZAŘÍZENÍ	
Typ	600-HVBW-1045-86/2-OU-00
Objem čerpané kapaliny	4320 m ³ ·h ⁻¹
Tlak na výtlaku	1,7 MPa
Typ elektromotoru	4 V 252 - 08 V
Příkon elektromotoru	3150 kW
Napětí	6 kV
Otáčky	740 min ⁻¹

Firma Plasmametal, spol. s r.o., která byla realizátorem renovace tohoto hřídele, vlastní oprávnění pro provádění rekonstrukcí, tuzemských výrobních spoluprací a oprav vyhrazených technických zařízení jaderných elektráren s reaktory typu VVER 440/1000 metodami technologie žárového stříkání [42].

Aplikací renovačních metod technologie žárového stříkání na poškozené rotační části a následné povrchové úpravy kovokeramického povlaku v rámci opravy hřídele (obr. 6.4) bylo dosaženo zvýšení životnosti a provozní funkčnosti.



Obr. 6.4 Hřídel čerpadla A600 - HVBW po renovaci [41].

Současně došlo ke snížení ekonomických nákladů na pořízení nového hřídele a nákladů na údržbu a opravy čerpadla. Celková úspora nákladů využitím renovace hřídele technologií žárového stříkání činila cca 70 %.

ZÁVĚR

Předmětem této magisterské práce bylo řešení opravy vzduchotechnické jednotky, která je součástí technologie JE Dukovany. Opakovaná závada vzduchotechnického soustrojí se projevovala zvýšenými vibracemi rotujících částí, které neumožňovaly její provoz.

Shrnutí dosažených výsledků:

- příčinou vibrací vzduchotechnického soustrojí byl po demontáži jednotlivých komponent identifikován hnací hřídel, který měl poškozený funkční průměr v místě, kde je namontováno pouzdro valivého ložiska,
- opakované vibrace, zjištěné po opravě VZT soustrojí nově vyrobeným hřídelem, byly způsobeny ohnutím hřídele, na opravu byla uplatněna reklamace,
- přepracováním výrobního postupu a zařazením tepelného zpracování (žihání pro odstranění vnitřní napjatosti) částečně obrobeného hřídele nedošlo k jeho deformaci, ke které došlo při první opravě VZT soustrojí,
- celkové výrobní náklady na zhotovení nového hřídele vzduchotechnické jednotky technologií třískového obrábění, včetně materiálu a jeho tepelného zpracování, byly vyčísleny na 8 128 Kč bez DPH,
- jako alternativní způsob odstranění poruchy vzduchotechnického soustrojí byla navržena renovace funkčního průměru původního hřídele technologií žárového nástřiku,
- ve spolupráci s firmou Plasmametal, spol. s r.o., která vlastní povolení na provádění oprav zařízení jaderných elektráren typu VVER 440/1000, byl navržen postup renovace poškozeného hřídele,
- náklady na renovaci poškozeného funkčního průměru hřídele pomocí technologie žárového nástřiku byly dle cenové nabídky firmy Plasmametal, spol. s r.o. stanoveny na 4 260 Kč bez DPH,
- v případě, že by oprava byla řešena renovací původního hřídele, byly by náklady o cca 48 % nižší než v případě zvolené alternativy výroby nové součásti,

Technologie třískového obrábění umožňuje při zvolení patřičného sledu operací správný a ekonomický průběh výrobního procesu. Řazení operací za sebou má mít takové pořadí, aby výrobní postup zajišťoval technické podmínky požadované výrobním výkresem, a to především geometrický tvar, přesnost a strukturu obrobeného povrchu.

Využitím technologie žárových nástřiků lze dosáhnout při řešení oprav strojních součástí nejen v jaderné energetice výrazných úspor finančních prostředků. Vždy je nutné individuálně posoudit, zda je výhodnější zvolit renovaci nebo výrobu nové součásti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Historie a současnost EDU. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu/historie-a-soucasnost.html>
2. Technologie a bezpečnost. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu/technologie-a-zabezpeceni.html>
3. 3D MODELOVÁNÍ. *TES*. [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.tesnet.cz/cs/sluzby-inzenyrske-modelovani.php>
4. ČEZ A.S. *UČEBNÍ TEXTY PRO PŘÍPRAVU PERSONÁLU JE: PRIMÁRNÍ ČÁST JE VVER 440 – TEXTOVÁ ČÁST* [dokument pdf]. 2011, 45 s. [cit. 2017-04-17].
5. Schéma s reaktorem VVER 440. *VÚJE, a.s.* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.vuje.sk/sk/schemy/schema-s-reaktorom-vver-440>
6. ČEZ A.S. *UČEBNÍ TEXTY PRO PŘÍPRAVU PERSONÁLU JE: SEKUNDÁRNÍ ČÁST JE VVER 440 - I. ČÁST* [dokument pdf]. 2015, 237 s. [cit. 2017-04-17].
7. ČEZ A.S. *UČEBNÍ TEXTY PRO PŘÍPRAVU PERSONÁLU JE: SEKUNDÁRNÍ ČÁST JE VVER 440 - II. ČÁST* [dokument pdf]. 2015, 294 s. [cit. 2017-04-17].
8. CHALUPNÍK, Miloslav. *PROVOZNÍ PŘEDPIS P050p: Vzduchotechnické systémy reaktorovny* [dokument pdf]. 2012, 129 s. [cit. 2017-04-17].
9. PAVLÍK, Vít. *ČEZ ME_0972r00: PŘS vibrační diagnostika rotačních zařízení* [dokument pdf]. 2014, 24 s. [cit. 2017-04-17].
10. Přenosné přístroje. *ADASH* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: http://www.adashchina.com/CZ%20verze/prenosne_pristroje.html
11. Žárové a plazmové technologie – žárové nástríky. *SAM Thermal Spray Technolgy* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.sammetal.cz/technologie/zarove-a-plazmove-technologie-zarove-nastriky/>
12. Princip žárového stříkání. *Ts-tech* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.ts-tech.cz/zarove-nastriky.html>
13. Žárové nástríky. *TRIBO Engineering* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.triboing.cz/zarove-nastriky.html>

14. KUBÍČEK, Jaroslav. *Renovace a povrchové úpravy*. Brno, 2006. 90 s. Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství. Syllabus. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/renovace_a_povrchove_upravy__kubicek.pdf
15. Základní metody. *PLASMAMETAL* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.plasmametal.cz/pouzite-technologie#zakladni-metody>
16. Žárové nástřiky. *VZÚ Plzeň* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.vzuplen.cz/zarove-nastriky/technologie.php>
17. Nástřik plamenem. *ŽÁROVÉ NÁSTŘIKY* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://zarovenastriky.cz/technologie/nastrik-plamenem/>
18. Nástřik elektrickým obloukem ARC. *ŽÁROVÉ NÁSTŘIKY* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://zarovenastriky.cz/technologie/nastrik-elektrickym-obloukem-arc/>
19. Plazmový nástřik APS. *ŽÁROVÉ NÁSTŘIKY* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://zarovenastriky.cz/technologie/plazmovy-nastrik-aps/>
20. Plazmové navařování PTA. *ŽÁROVÉ NÁSTŘIKY* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://zarovenastriky.cz/technologie/plazmove-navarovani-pta/>
21. Vysokorychlostní nástřik HVOF. *ŽÁROVÉ NÁSTŘIKY* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://zarovenastriky.cz/technologie/vysokorychlostni-nastrik-hvof>
22. HLUCHÝ, M. a J. BENEŠ. *Strojírenská technologie*. 1. Praha: SNTL, 1981.
23. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
24. Vyhláška o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení. In: *309/2005 Sb.* 2005. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/309_05.pdf
25. Vyhláška o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd. In: *132/2008 Sb.* 2008. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/V_132_08.pdf
26. NTD A.S.I. *Normativně Technické Dokumentace Asociace strojních inženýrů*. A.S.I. 2013. Dostupné z: <http://www.asicr.cz/>

27. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
28. Thermal Spray Materials Guide. *SULZER* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.eb-product.com/uploadfile/201404/20140424192724261.pdf>
29. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. ISBN 80-85867-95-8.
30. ČSN 11523 – konstrukční ocel. *CZ FERRO - STEEL* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/trubky4-11523.pdf>
31. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-7361-033-7.
32. Univerzální hrotový soustruh. *Katalog obráběcích a tvářecích strojů* [online]. 2004 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/ssu63h_1.html
33. KONZOLOVÁ FRÉZKA FGV 32. *TOS Olomouc* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.tos-olomouc.cz/cz/vyrobní-program/univerzalni-produkci-frezky/konzolova-frezka-fgv-32/>
34. Hrotové brusky BUB 40 B Practic. *Slovácké strojírny, a. s.* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/tos-celakovice/hrotove/bub-40-b-practic.aspx>
35. NOVOTNÝ Karel a Oskar ZEMČÍK. *PŘÍPRAVKY A NÁSTROJE, UČEBNÍ TEXTY KOMBINOVANÉHO BAKALÁŘSKÉHO STUDIA* [online]. [vid. 2017-03-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/pripravky_a_nastroje__novotny_zemcik.pdf
36. HUMÁR, A. *Technologie Obrábění - 1. část*. [online]. [vid. 2017-03-31]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
37. Strojní časy. *ELEKTRONICKÁ UČEBNICE* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1280>
38. POŠTA, Josef, Michail I. ČERNOVOL a Jaroslav HAVLÍČEK. *Renovace strojních součástí*. 2. vyd. Praha: SVÚM, 1998. ISBN 80-902015-6-3.
39. ČEZ A.S. *UČEBNÍ TEXTY PRO PŘÍPRAVU PERSONÁLU JE: SEKUNDÁRNÍ ČÁST JE VVER 1000 – III. DÍL* [dokument pdf]. 2015, 440 s. [cit. 2017-05-11].

40. SIGMA. *Produkty: HVBW* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z:
<http://www.sigmagroup.cz/produkty/hvbw>
41. Renovace: ŽÁROVÉ NÁSTŘIKY. *SIGMA* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z:
<http://www.sigma-energo.cz/program/renovace>
42. Certifikace. *PLASMAMETAL* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z:
<http://www.plasmametal.cz/o-nas>
43. ČEZ A.S. *UČEBNÍ TEXTY PRO PŘÍPRAVU PERSONÁLU JE: PRIMÁRNÍ ČÁST JE VVER 440 – OBRÁZKOVÁ ČÁST* [dokument pdf]. 2011, 58 s. [cit. 2017-04-19].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
APS	[-]	plazmatický nástřik na vzduchu
ARC	[-]	nástřik elektrickým obloukem
ČS	[-]	čerpací stanice
DC	[-]	stejnosměrný proud
EDU	[-]	elektrárna Dukovany
GO	[-]	generální oprava
HB	[-]	tvrdost podle Brinella
HRC	[-]	tvrdost podle Rockwella
HSS	[-]	rychlořezná ocel
HVB	[-]	hlavní výrobní blok
HVOF	[-]	vysokorychlostní nástřik plamenem
I.O.	[-]	primární okruh
II.O.	[-]	sekundární okruh
JE	[-]	jaderná elektrárna
KP	[-]	kontrolované pásmo
PTA	[-]	plazmové navařování
SÚJB	[-]	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
VVER	[-]	vodou chlazený, vodou moderovaný energetický reaktor
VZT	[-]	vzduchotechnika

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	průměr frézy
D _o	[mm]	průměr obrobku
D _p	[mm]	průměr polotovaru
F _A	[N]	reakční síla v podpoře A
F _B	[N]	reakční síla v podpoře B
F _{OK}	[N]	tíhová síla hmotnosti oběžného kola

L	[mm]	dráha nástroje
L_p	[mm]	délka polotovaru
Mom_{ax}	[N·mm]	maximální ohybový moment
Remin	[MPa]	mez kluzu (minimální)
Rm	[MPa]	mez pevnosti v tahu
Woy	[mm ³]	průřezový modul v ohybu
a	[mm]	vzdálenost
b	[mm]	vzdálenost
b_s	[mm]	šířka broušícího kotouče
d	[mm]	průměr
d_o	[mm]	největší průměr obrobku
d_w	[mm]	průměr obrobku
f	[mm]	posuv na otáčku
f_a	[mm]	axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku,
f_r	[mm]	radiální posuv stolu brusky na jeden axiální zdvih stolu
f_z	[mm]	posuv na zub
g	[m·s ⁻²]	tíhové zrychlení
l	[mm]	délka plochy
l_n	[mm]	délka náběhu
l_{na}	[mm]	délka náběhu v axiálním směru
l_o	[mm]	největší délka obrobku
l_p	[mm]	délka přeběhu
l_{pa}	[mm]	délka přeběhu v axiálním směru
l_w	[mm]	délka obrobku
m_{OK}	[kg]	hmotnost oběžného kola
n	[min ⁻¹]	otáčky
n_n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje
n_o	[min ⁻¹]	otáčky obrobku
n_w	[min ⁻¹]	frekvence otáčení obrobku

p	[mm]	přídavek na průměr
Ra	[μm]	průměrná aritmetická úchylka profilu
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v_{fa}	[m.min ⁻¹]	axiální rychlost posuvu stolu brusky
v_w	[m.min ⁻¹]	obvodová rychlost obrobku
z	[-]	počet zubů nástroje
σ_{OD}	[MPa]	ohybové napětí dovolené (pro ocel 11 600 jsou doporučené hodnoty v rozmezí 85 až 115 MPa)
σ_{Oy}	[MPa]	ohybové napětí v ose y

SLOVNÍČEK ODBORNÝCH POJMŮ

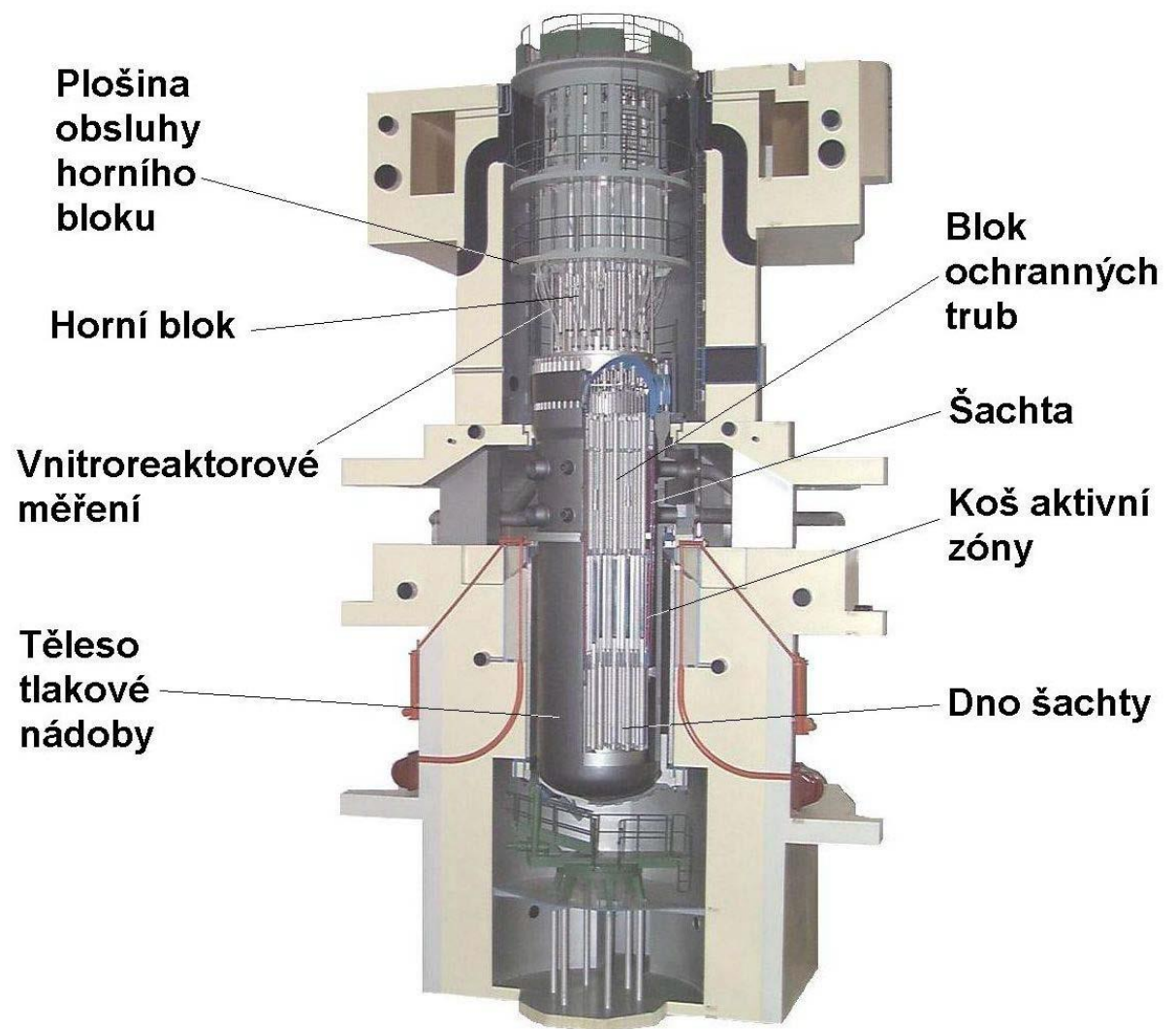
Pojem	Popis
Hydroakumulátor	Součást pasivního systému havarijního chlazení aktivní zóny. Konstruktivně se jedná o silnostěnnou válcovou tlakovou nádobu vyrobenou z uhlíkové oceli s korozivzdornou výstelkou umístěnou vertikálně na válcové podpěře. Nádobu obsahuje ve stavu pohotovosti pracovní médium (vodný roztok 12 g H ₃ BO ₃ /kg H ₂ O) a dusík, který zabezpečuje vytlačení roztoku do reaktoru v případě poklesu tlaku v reaktoru pod 3,4 ÷ 3,7 MPa.
Reaktorovna	Hala jaderné elektrárny, ve které je umístěn reaktor, hlavní cirkulační čerpadlo, parogenerátor a hlavní uzavírací armatura. Reaktorovna tvoří součást hlavního výrobního bloku, vedle etažerky a strojovny s turbogenerátory.
Skafandrový vzduch	Tento vzduch vyrábí speciální vzduchotechnický systém a je zaveden do prostor kam není možno vstoupit pro vysokou koncentraci radioaktivních aerosolů, tzn., že by pracovníkům hrozila vnitřní kontaminace.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Reaktor JE VVER V-213-č (model)
Příloha 2	Hlavní cirkulační čerpadlo
Příloha 3	Kompenzátor objemu
Příloha 4	Parogenerátor PGV 213 JE Dukovany
Příloha 5	Parní turbína K220-44
Příloha 6	Protokol měření vibrací před první opravou
Příloha 7	Klasifikace stavu rotačních zařízení na základě měření vibrací
Příloha 8	Protokol měření vibrací po první opravě
Příloha 9	Protokol měření vibrací po druhé opravě
Příloha 10	Operační návodka pro operaci č. 50
Příloha 11	Operační návodka pro operaci č. 170
Příloha 12	Operační návodka pro operaci č. 210
Příloha 13	Výrobní výkres hřídele
Příloha 14	Specifikace přídavného materiálu Metco 8448
Příloha 15	Specifikace přídavného materiálu GTV 50.17.6
Příloha 16	Základní technické parametry zvolených obráběcích strojů

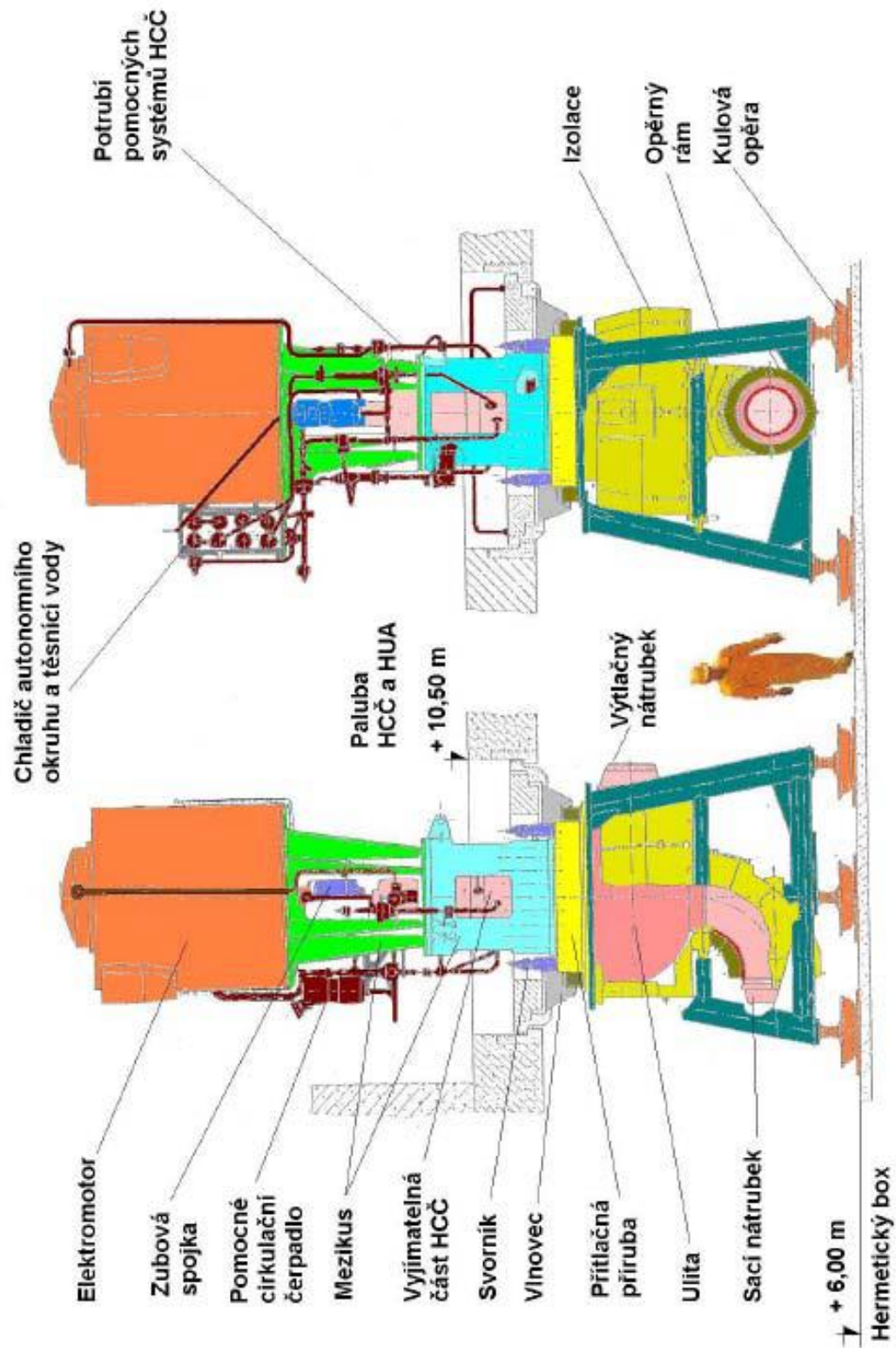
PŘÍLOHA 1

Reaktor JE VVER V-213-č (model) [43].



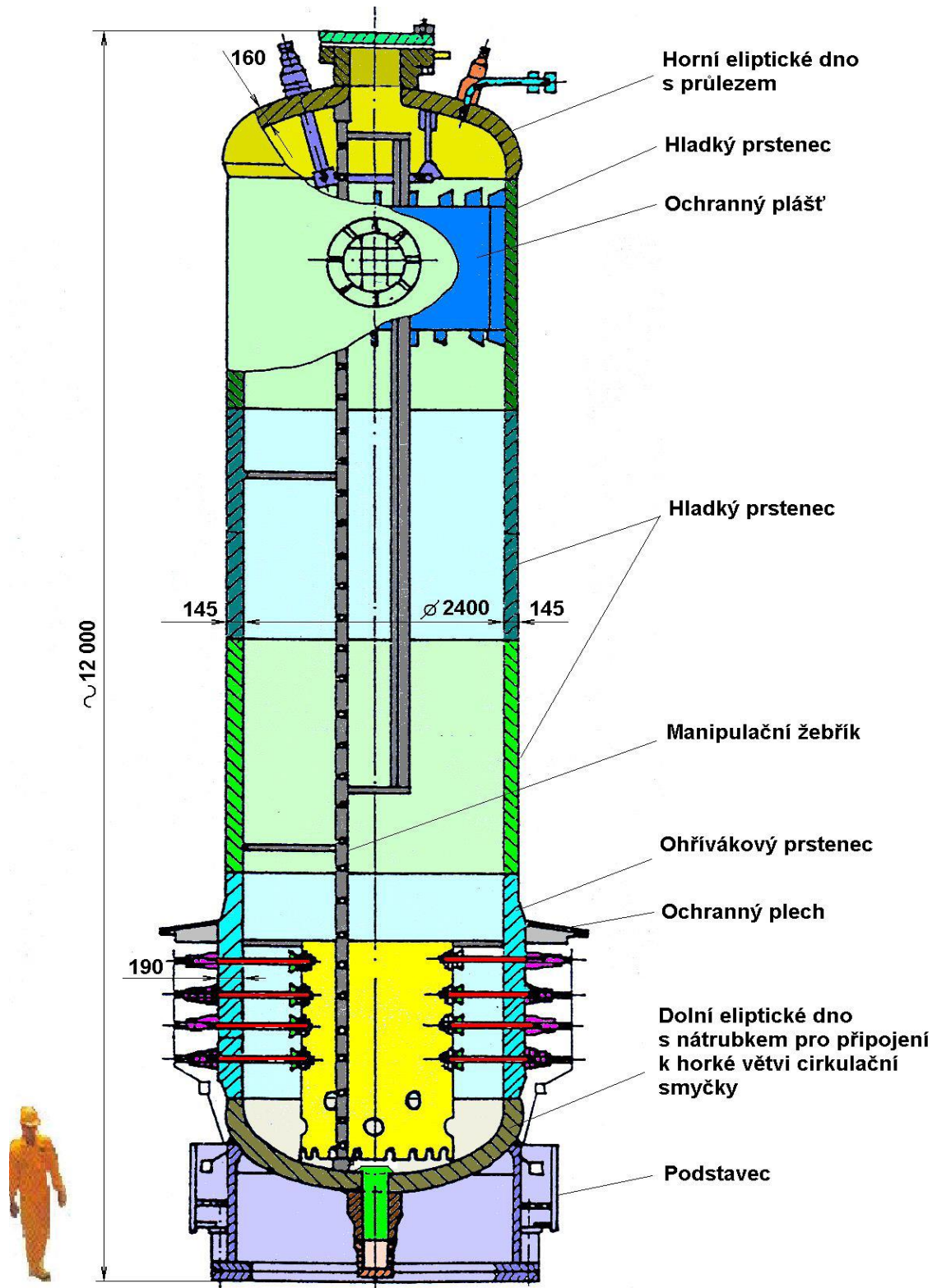
PŘÍLOHA 2

Hlavní cirkulační čerpadlo [41].



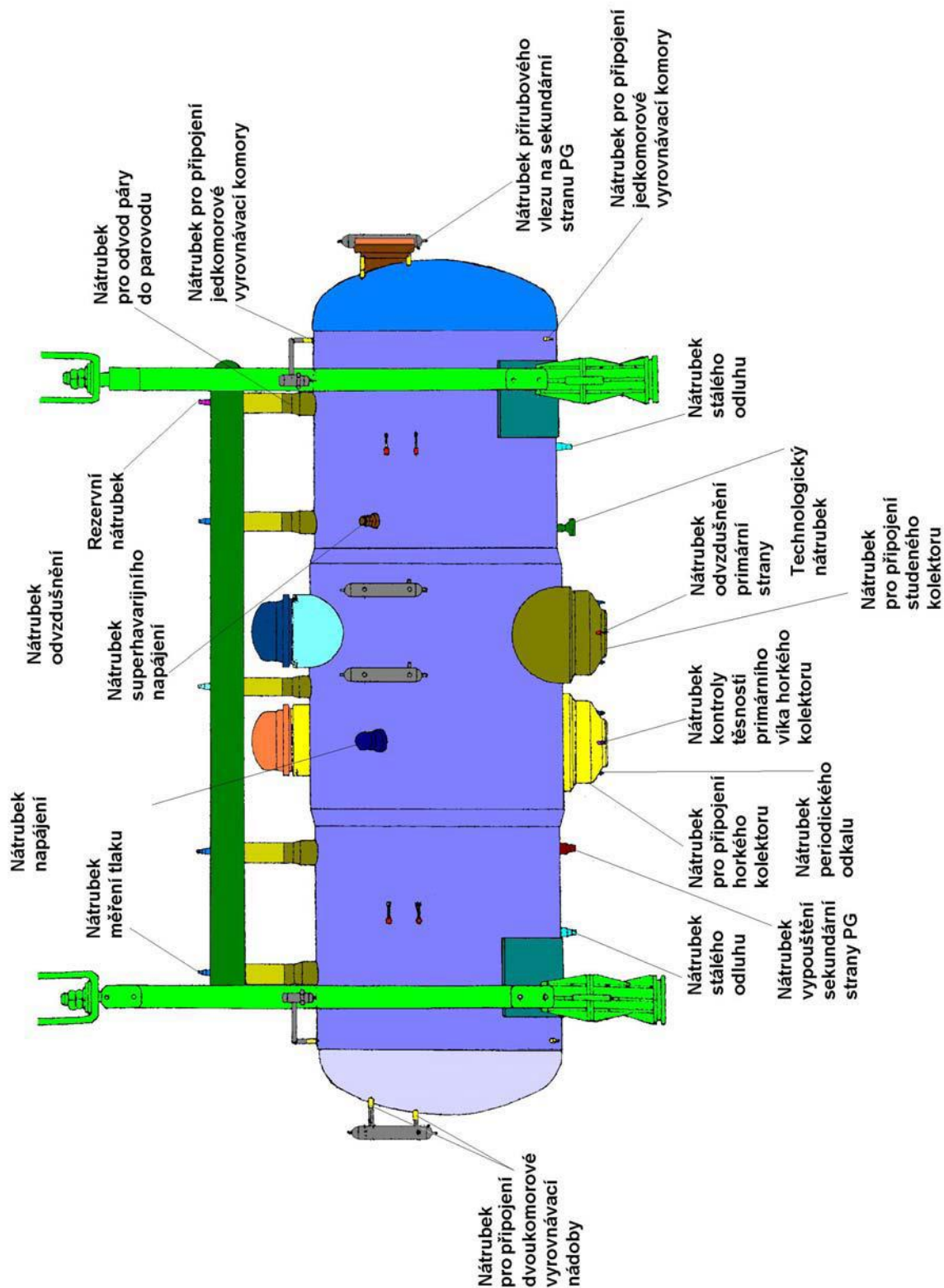
PŘÍLOHA 3

Kompenzátor objemu [41].



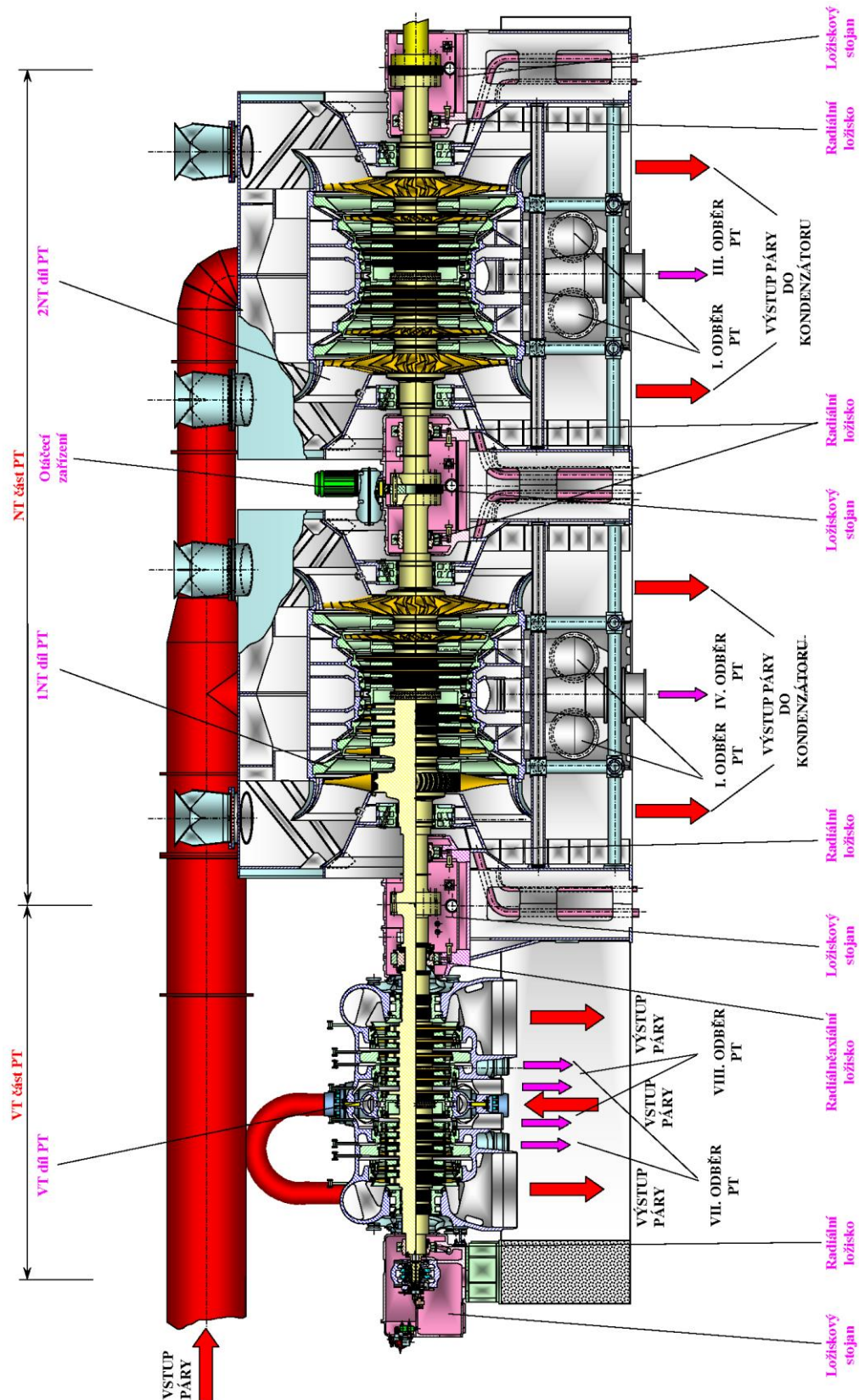
PŘÍLOHA 4

Parogenerátor PGV 213 JE Dukovany [41].



PŘÍLOHA 5

Parní turbína K220-44 [6].



PŘÍLOHA 6 (1/2)

Protokol měření vibrací před první opravou

KONTROLA VIBRACÍ

PROTOKOL č. J 02.16.G.0020

Identifikace zkoušeného objektu:

Název:

VENTILÁTOR

Zařízení, Systém, DPS, výrobní číslo:

2TL141D01, TL, —, —

Blok, Objekt, Místnost, Podlaží:

2, —, PoE 2 / 601 +31.00m, —

Závazné předpisy a vyhlášky:

—

Význam kontroly:

Operativní kontrola

Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky:

21.1.2016

Číslo pracovního příkazu:

bez pracovního příkazu

Normy a předpisy pro provedení / hodnocení:

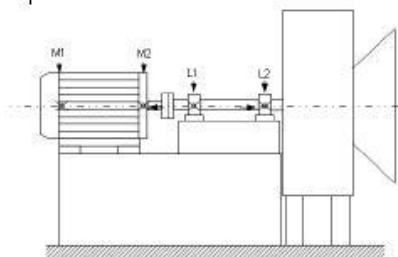
instrukce ČEZ_ME_0867, ČEZ_ME_0972/ČEZ_ME_0867, ČEZ_ME_0972 / ČEZ_ME_0867, ČEZ_ME_0972

Zařízení a prostředky pro zkoušku:

Název / Typ / Výrobní číslo / Poznámka:

Vibrometr / Adash A4101 / 620740 / —

Schéma uspořádání:



Seznam kontrol:

Označení	Komponenta	Předmět kontroly	Typové označení stroje
001	M	M1 - ložisko EP dál od spojky	
002	M	M2 - ložisko EP u spojky	
003	V	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	
004	V	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	

Limitní hodnoty:

Kontrolní místo	Název kontrolního místa	Frekvence		Měrná jednotka	Pásmo			
		od [Hz]	do [Hz]		A	B	C	D
001	M1 - ložisko EP dál od spojky	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0
002	M2 - ložisko EP u spojky	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0
003	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0

Kritéria pro vyhodnocení podle úrovně vibrací

A - VÝBORNÝ - Dlouhodobý provoz bez omezení.

B - VYHOVUJÍCÍ - Provoz zařízení do odstranění závady je bez dalších omezení. Pokračovat v dalším sledování případných změn.

C - USPOKOJIVÝ - Provoz „časově“ omezen do plánované vhodné odstávky. Provedení jednoduchého zásahu (domazání stroje, utažení šroubu...) nebo plánování rozsahu údržby (kontrola ustavení nebo revize stroje) v PO.

D - NEUSPOKOJIVÝ - Zařízení dosahující vibrací v této skupině mohou být provozovány jen se svolením vedoucího provozu a VO PoZ pouze nezbytně dlouho do doby, kdy je možné zařízení odstavit a provést jeho opravu. Do dalšího uvedení do provozu odstranit závady nebo přijmout vynucená opatření eventuálně omezení pro provoz po stanovenou dobu. V tomto případě je pak nutné pravidelně vyhodnocovat trend nárůstu sledovaného indikátoru degradace v určených periodách.

E - NEPŘÍPUSTNÝ - Nutné okamžité odstranění závady, vyměnění poškozené komponenty nebo přijetí dalších opatření v rámci řešení Neshody.

Zvýšené vibrace na zařízení.

PŘÍLOHA 6 (2/2)

Protokol měření vibrací před první opravou

KONTROLA VIBRACÍ

PROTOKOL č. J 02.16.G.0020

Naměřené hodnoty:

Kontrolní místo	Název kontrolního místa	Teplota části	Směr měření	Naměřená hodnota	Pásmo	Poznámka
001	M1 - ložisko EP dál od spojky	—	V	3,4 mm/s	A	
001	M1 - ložisko EP dál od spojky	—	H	9,0 mm/s	C	
002	M2 - ložisko EP u spojky	—	V	3,4 mm/s	A	
002	M2 - ložisko EP u spojky	—	H	8,3 mm/s	C	
002	M2 - ložisko EP u spojky	—	A	2,7 mm/s	A	
003	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	—	V	2,5 mm/s	A	
003	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	—	H	4,2 mm/s	B	
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	—	V	2,0 mm/s	A	
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	—	H	2,6 mm/s	A	
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	—	A	2,3 mm/s	A	

Analýza stavu a doporučení:

Vibrace na zařízení jsou v pásmu C, což je stav NEUSPOKOJIVÝ.

Na EP je většina energie na otáčkové frekvenci a také na ventilátoru patří mezi dominantní frekvence.

Zvýšené vibrace mohou být způsobeny vlivem vlastní rezonance a tím zesíleny závady, které by jinak neměly takový vliv na celkové vibrace.

Dalším příznakem může být nevývaha, která se dá předpokládat dle úrovně vibrací na EP.

Doporučuji prvně provést kontrolu s naladěním tuhosti zařízení za účasti diagnostiky. V případě neuspokojivého výsledku provést kontrolu vyvážení rotoru EP.

Celkové hodnocení:

Zkoušel:

Vyhodnotil:

Rozdělovník:

Počet příloh:

D - NEUSPOKOJIVÝ

Miloslav Černý / --

Bohumil Abrahám / 336/P3-VIBRODIAGNOSTIK

—

přílohy nejsou

razítko a podpis

PŘÍLOHA 7

Klasifikace stavu rotačních zařízení na základě měření vibrací [9].

Klasifikace	Stav zařízení	Definice stavu zařízení	Opatření do provozu
A	Výborný	Hodnoty vibrací dle ČSN ISO anebo ostatních příslušných předpisů v pásmu A. Bez závad, drobná závada nebo odchylka, nevyžadující další opatření. Zařízení se adekvátně opotřebovává. Nová a provozovaná zařízení s přípustnou odchylkou sledovaných indikátorů stavu.	Dlouhodobý provoz bez omezení.
B	Vyhovující	Hodnoty vibrací dle ČSN ISO anebo ostatních příslušných předpisů v pásmu B. Závada nebo odchylka vyžadující zásah s možným dlouhodobým odkladem, menší poškození / degradace, zaznamenaná změna sledovaných indikátorů stavu zařízení.	Provoz zařízení do odstranění závady je bez dalších omezení. Pokračovat v dalším sledování případných změn.
C	Uspokojivý	Hodnoty vibrací dle ČSN ISO anebo ostatních příslušných předpisů v pásmu B nebo maximálně do 1,25 násobku horní hranice pásma B. Závada nebo odchylka zjištěná ostatními metodami (FFT apod.) vyžadující zásah s možným krátkodobým odkladem nebo realizace nápravných opatření nevyžadující odstavení (zpravidla domazání ložisek stroje).	Provoz „časově“ omezen do plánované vhodné odstávky. Provedení jednoduchého zásahu (domazání stroje, utažení šroubu...) nebo plánování rozsahu údržby (kontrola ustavení nebo revize stroje) v PO.
D	Neuspokojivý	Hodnoty vibrací dle ČSN ISO anebo ostatních příslušných předpisů v pásmu C. Velmi vážná poškození vyžadující podrobnou / rozšířenou diagnostiku, příp. provedení rozboru trendu sledovaných vlastností zařízení, vynucená opatření pro provoz, potřebná doplňková diagnostika / přepočítání zbytkové životnosti s aktuálními parametry, nutnost oprav / výměn, příp. neprodlený rozbor vývoje trendu sledovaných vlastností zařízení.	Zařízení dosahující vibrací v této skupině mohou být provozovány jen se svolením vedoucího provozu a VO PoZ pouze nezbytně dlouho do doby, kdy je možné zařízení odstavit a provést jeho opravu. Do dalšího uvedení do provozu odstranit závady nebo přijmout vynucená opatření eventuálně omezení pro provoz po stanovenou dobu. V tomto případě je pak nutné pravidelně vyhodnocovat trend nárůstu sledovaného indikátoru degradace v určených periodách.
E	Nepřípustný	Hodnoty vibrací dle ČSN ISO anebo ostatních příslušných předpisů v pásmu D. Stav blížící se havarijnímu event. porucha bránící dalšímu provozu.	Nutné okamžité odstranění závady, vyměnění poškozené komponenty nebo přijetí dalších opatření v rámci řešení Neshody.

PŘÍLOHA 8 (1/2)

Protokol měření vibrací po první opravě

KONTROLA VIBRACÍ

PROTOKOL č. J 02.16.G.0377

Identifikace zkoušeného objektu:

Název:

VENTILÁTOR

Zařízení, Systém, DPS, výrobní číslo:

2TL141D01, TL, —, —

Blok, Objekt, Místnost, Podlaží:

2, —, PoE 2 /601 +31.00m, —

Závazné předpisy a vyhlášky:

—

Význam kontroly:

Operativní kontrola

Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky:

21.9.2016

Číslo pracovního příkazu:

31896787/02

Normy a předpisy pro provedení / hodnocení:

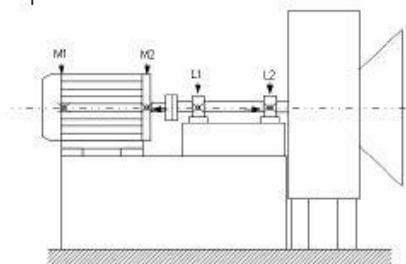
instrukce ČEZ_ME_0867, ČEZ_ME_0972/ČEZ_ME_0867, ČEZ_ME_0972 / ČEZ_ME_0867, ČEZ_ME_0972

Zařízení a prostředky pro zkoušku:

Název / Typ / Výrobní číslo / Poznámka:

Vibrometr / Adash A4300-VA3 / 621293 / —

Schéma uspořádání:



Seznam kontrol:

Označení	Komponenta	Předmět kontroly	Typové označení stroje
001	M	M1 - ložisko EP dál od spojky	
002	M	M2 - ložisko EP u spojky	
003	V	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	
004	V	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	

Limity hodnoty:

Kontrolní místo	Název kontrolního místa	Frekvence		Měrná jednotka	Pásmo			
		od [Hz]	do [Hz]		A	B	C	D
001	M1 - ložisko EP dál od spojky	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0
002	M2 - ložisko EP u spojky	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0
003	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0

Kritéria pro vyhodnocení podle úrovně vibrací

A - VÝBORNÝ - Dlouhodobý provoz bez omezení.

B - VYHOVUJÍCÍ - Provoz zařízení do odstranění závady je bez dalších omezení. Pokračovat v dalším sledování případných změn.

C - USPOKOJIVÝ - Provoz „časově“ omezen do plánované vhodné odstávky. Provedení jednoduchého zásahu (domazání stroje, utažení šroubu...) nebo plánování rozsahu údržby (kontrola nastavení nebo revize stroje) v PO.

D - NEUSPOKOJIVÝ - Zařízení dosahující vibrací v této skupině mohou být provozovány jen se svolením vedoucího provozu a VO PoZ pouze nezbytně dlouho do doby, kdy je možné zařízení odstavit a provést jeho opravu. Do dalšího uvedení do provozu odstranit závadu nebo přijmout vynucená opatření eventuálně omezení pro provoz po stanovenou dobu. V tomto případě je pak nutné pravidelně vyhodnocovat trend nárůstu sledovaného indikátoru degradace v určených periodách.

E - NEPŘÍPUSTNÝ - Nutné okamžité odstranění závady, výměny poškozené komponenty nebo přijetí dalších opatření v rámci řešení Neshody.

Měření vibrací po GO ventilátoru a cca 20hodinách chodu.

PŘÍLOHA 8 (2/2)

Protokol měření vibrací po první opravě (list 2/2)

KONTROLA VIBRACÍ

PROTOKOL č. J 02.16.G.0377

Naměřené hodnoty:

Kontrolní místo	Název kontrolního místa	Teplota části	Směr měření	Naměřená hodnota	Pásmo	Poznámka
001	M1 - ložisko EP dál od spojky	—	V	24,4 mm/s	D	
001	M1 - ložisko EP dál od spojky	—	H	9,5 mm/s	C	
002	M2 - ložisko EP u spojky	—	V	17,5 mm/s	D	
002	M2 - ložisko EP u spojky	—	H	8,6 mm/s	C	
002	M2 - ložisko EP u spojky	—	A	2,9 mm/s	A	
003	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	—	V	15,3 mm/s	D	
003	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	—	H	13,1 mm/s	D	
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	—	V	23,0 mm/s	D	
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	—	H	11,2 mm/s	D	
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	—	A	30,5 mm/s	D	

Analýza stavu a doporučení:

Vibrace na zařízení jsou v pásmu D.

Dominantní frekvencí na zařízení je otáčková frekvence, kterou doprovází na většině bodů její 2. harmonická složka poměrově s nižší amplitudou.

2. harmonická složka otáčkové frekvence dosahuje největší poměr amplitud v axiálním směru.

Z vysokou otáčkovou frekvencí ve spektru lze předpokládat nevývahu, ale jelikož v axiálním směru se vyskytuje poměrně výrazná amplituda na 2. otáčkové frekvenci, dá se usuzovat i na ohnutou hřídel.

Doporučuji kontrolu hřídelí a vývážení rotujících částí.

Celkové hodnocení:

Zkoušel:

Vyhodnotil:

Rozdělovník:

Počet příloh:

E - NEPŘÍPUSTNÝ

Jaroslav Šelep / 383/P4-VIBRODIAGNOSTIK

Bohumil Abrahám / 336/P4-VIBRODIAGNOSTIK

—

přílohy nejsou

razítko a podpis

PŘÍLOHA 9 (1/2)

Protokol měření vibrací po druhé opravě (list 1/2)

KONTROLA VIBRACÍ

PROTOKOL č. J 02.16.G.0394

Identifikace zkoušeného objektu:

Název: VENTILÁTOR
Zařízení, Systém, DPS, výrobní číslo: 2TL141D01, TL, —, —
Blok, Objekt, Místnost, Podlaží: 2, —, PoE 2 /601 +31.00m, —
Závazné předpisy a vyhlášky: —
Význam kontroly: Operativní kontrola
Tento protokol řeší protokoly: J 02.16.G.0377 (004, 002, 001, 003)

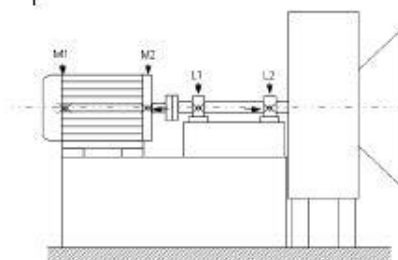
Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky: 3.10.2016
Číslo pracovního příkazu: 31916593/03
Normy a předpisy pro provedení / hodnocení: instrukce ČEZ_ME_0867, ČEZ_ME_0972/ČEZ_ME_0867, ČEZ_ME_0972 / ČEZ_ME_0867, ČEZ_ME_0972

Zařízení a prostředky pro zkoušku:

Název / Typ / Výrobní číslo / Poznámka: Vibrometr / Adash A4300-VA3 / 621293 / —

Schéma uspořádání:



Seznam kontrol:

Označení	Komponenta	Předmět kontroly	Typové označení stroje
001	M	M1 - ložisko EP dál od spojky	
001	M	M1 - ložisko EP dál od spojky	
002	M	M2 - ložisko EP u spojky	
002	M	M2 - ložisko EP u spojky	
003	V	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	
003	V	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	
004	V	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	
004	V	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	

Limitní hodnoty:

Kontrolní místo	Název kontrolního místa	Frekvence		Měrná jednotka	Pásmo			
		od [Hz]	do [Hz]		A	B	C	D
001	M1 - ložisko EP dál od spojky	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0
002	M2 - ložisko EP u spojky	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0
003	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	10	1000	mm/s	≤ 3,5	≤ 7,1	≤ 11,0	> 11,0

Kritéria pro vyhodnocení podle úrovně vibrací

A - VÝBORNÝ - Dlouhodobý provoz bez omezení.

B - VYHOVUJÍCÍ - Provoz zařízení do odstranění závady je bez dalších omezení. Pokračovat v dalším sledování případných změn.

C - USPOKOJIVÝ - Provoz „časově“ omezen do plánované vhodné odstávky. Provedení jednoduchého zásahu (domazání stroje, utažení šroubu...) nebo plánování rozsahu údržby (kontrola nastavení nebo revize stroje) v PO.

D - NEUSPOKOJIVÝ - Zařízení dosahující vibrací v této skupině mohou být provozovány jen se svolením vedoucího provozu a VO PoZ pouze nezbytně dlouho do doby, kdy je možné zařízení odstavit a provést jeho opravu. Do dalšího uvedení do provozu odstranit závadu nebo přijmout vynucená opatření eventuálně omezení pro provoz po stanovenou dobu. V tomto případě je pak nutné pravidelně vyhodnocovat trend nárůstu sledovaného indikátoru degradace v určených periodách.

E - NEPŘÍPUSTNÝ - Nutné okamžité odstranění závady, výměnění poškozené komponenty nebo přijetí dalších opatření v rámci řešení Neshody.

PŘÍLOHA 9 (2/2)

Protokol měření vibrací po druhé opravě

KONTROLA VIBRACÍ

PROTOKOL č. J 02.16.G.0394

Měření vibrací po výměně hřídele ventilátoru.

Naměřené hodnoty:

Kontrolní místo	Název kontrolního místa	Teplota části	Směr měření	Naměřená hodnota	Pásmo	Poznámka
001	M1 - ložisko EP dál od spojky	—	V	1,1 mm/s	A	
001	M1 - ložisko EP dál od spojky	—	H	1,6 mm/s	A	
002	M2 - ložisko EP u spojky	—	V	0,9 mm/s	A	
002	M2 - ložisko EP u spojky	—	H	1,2 mm/s	A	
002	M2 - ložisko EP u spojky	—	A	1,5 mm/s	A	
003	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	—	V	1,1 mm/s	A	
003	L1 - ložiskový domek ventilátoru u spojky	—	H	1,7 mm/s	A	
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	—	V	1,2 mm/s	A	
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	—	H	1,3 mm/s	A	
004	L2 - ložiskový domek u hydraulické části ventilátoru	—	A	1,0 mm/s	A	

Analýza stavu a doporučení:

Vibrace na zařízení jsou v pásmu A.

Celkové hodnocení:

Zkoušel:

Vyhodnotil:

Rozdělovník:

Počet příloh:

A - VÝBORNÝ

Jaroslav Šelep / 383/P4-VIBRODIAGNOSTIK

Bohumil Abrahám / 336/P4-VIBRODIAGNOSTIK

—
přílohy nejsou

místo a podpis

PŘÍLOHA 10

Operační návodka pro operaci č. 50

VÝROBNÍ NÁVODKA

VUT v Brně, FSI, ÚST

Součást: HRÍDEL

Stroj: SU 63 H

Pracoviště: 04137

Číslo operace: 50

Úsek	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	l [mm]	t_{AS} [min]
Hrubovat Ø67; T1	1	325	1035	0,40	4	117	0,287
Hrubovat Ø67; T1	2	325	1124	0,40	4	117	0,265
Hrubovat Ø67; T2	3	325	1232	0,35	4	135	0,318
Hrubovat Ø67; T2	4	325	1361	0,35	4,5	135	0,288
Σ t_{AS}							1,158

Datum: 17.3.2017

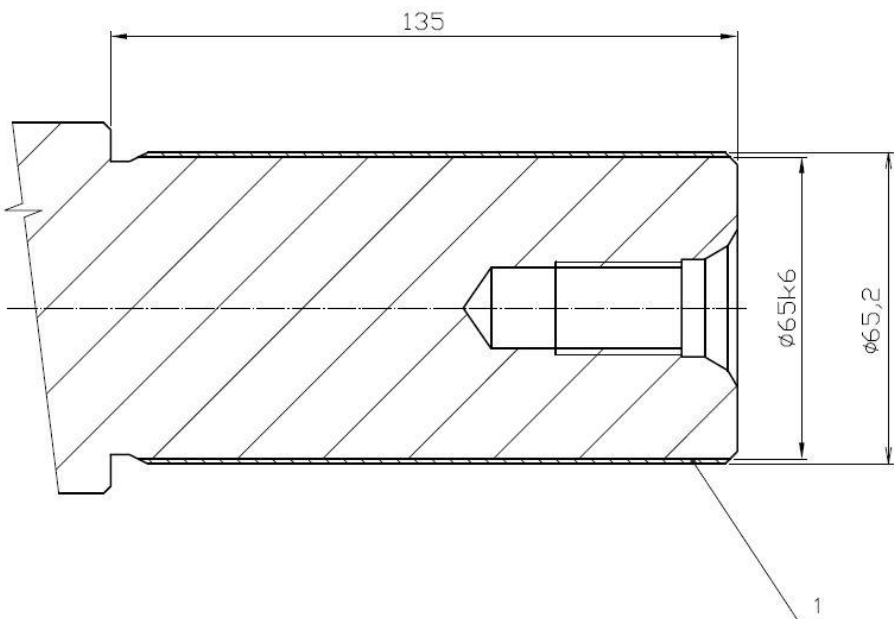
Navrhl: Libor Veselý

Schválil:

Pozn.: Hodnoty otáček jsou vypočítány pro obrábění konstantní řeznou rychlostí. Na soustruhu je třeba zvolit otáčky dle možností nastavení stroje.

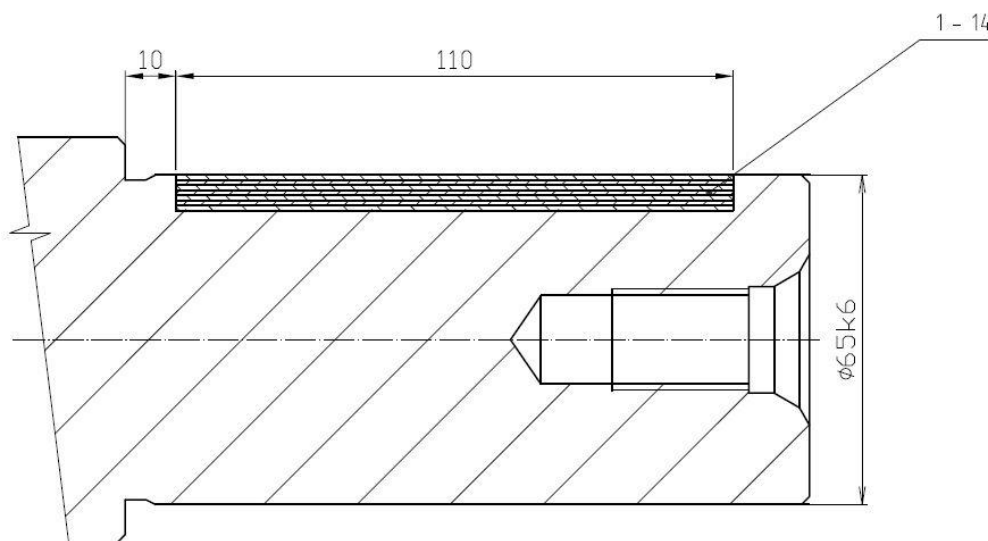
PŘÍLOHA 11

Operační návodka pro operaci č. 170

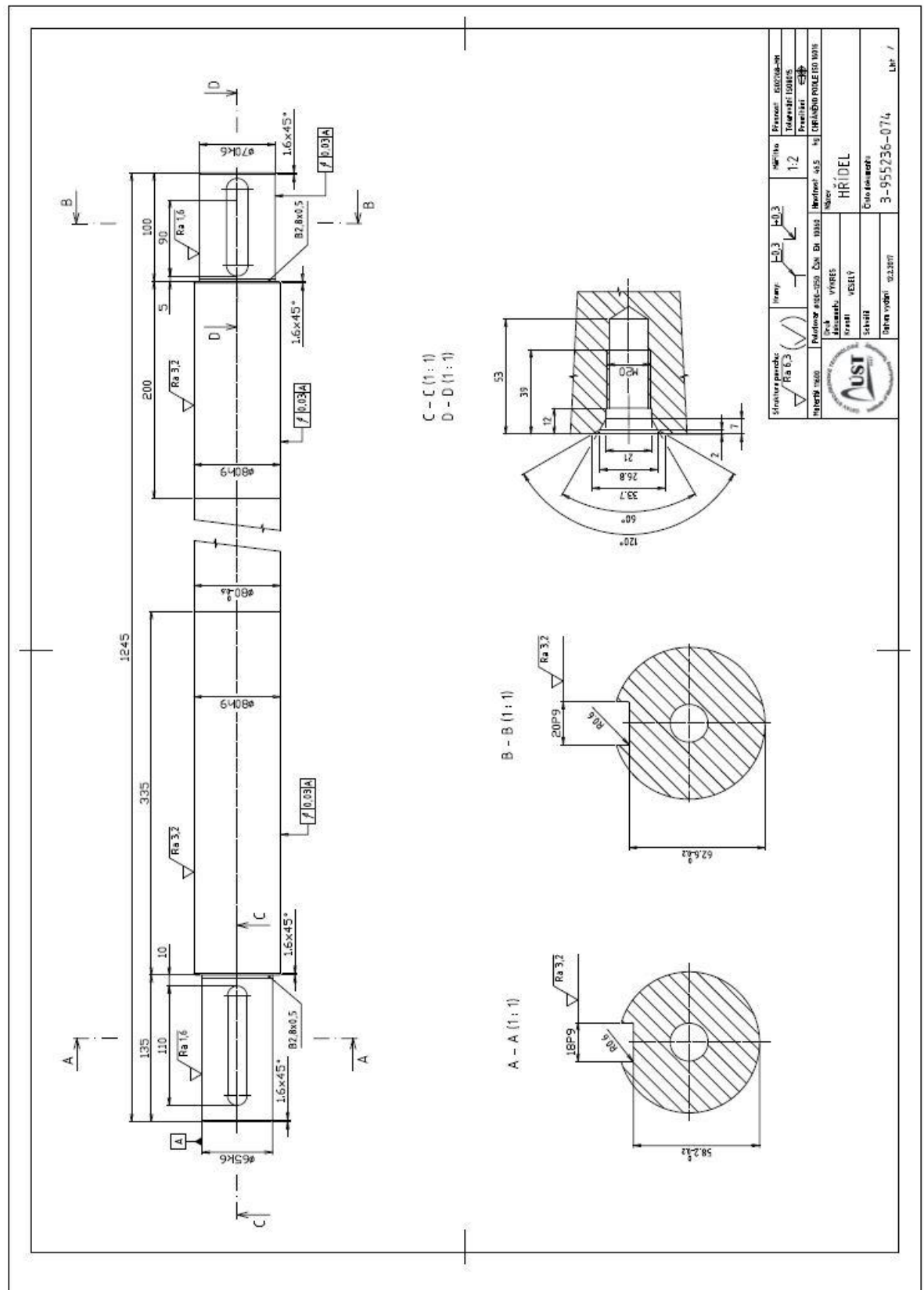
VÝROBNÍ NÁVODKA						
VUT v Brně, FSI, ÚST	Součást: HŘÍDEL	Stroj: BUB 40 B		Číslo operace: 170		
		Pracoviště: 05533				
<div></div>						
Úsek	i	v_c [m.s ⁻¹]	n_w [min ⁻¹]	v_{fa} [m.min ⁻¹]	l [mm]	t_{AS} [min]
Brousit Ø65k6; T10	1	35	98	1,80	138	3,08
Σ t _{AS}						3,08
Datum: 17.3.2017	Navrhl: Libor Veselý		Schválil:			

PŘÍLOHA 12

Operační návodka pro operaci č. 210

VÝROBNÍ NÁVODKA							
VUT v Brně, FSI, ÚST	Součást: HŘÍDEL	Stroj: FGV 32		Číslo operace: 210			
		Pracoviště: 05223					
							
Úsek	i	v_c [m.min ⁻¹]	v_f [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	a_p [mm]	l [mm]	t_{AS} [min]
Frézovat drážku 18P9; T11	1	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	2	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	3	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	4	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	5	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	6	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	7	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	8	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	9	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	10	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	11	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	12	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	13	165	300	0,06	0,5	110	0,307
Frézovat drážku 18P9; T11	14	165	300	0,06	0,3	110	0,307
Σt_{AS}							4,298
Datum: 17.3.2017		Navrhl: Libor Veselý			Schválil:		

Výrobní výkres hřídele



PŘÍLOHA 14

Specifikace přídatného materiálu Metco 8448

Inspection Certificate

EN 10204 - 3.1



080087208

SULZER

Sulzer Metco Europe GmbH
Sprestrasse 2
D-65451 KELSTERBACH
Phone: +49 6142 6033 0
Fax: +49 6142 6033 400

PLASMAMETAL S.R.O.

Tovární 739/1

643 00 BRNO

TS-CHECH REPUBL.

Shipping Doc/Date

800387366 / 04.04.2014

Page

1

Customer PO: 2014/0027

Sulzer PO: 200227596

Product: 1057669 Metco 8448 14ga 13kg (PR)

Quantity: 65,000 KG

SM Lot No: 116189

Characteristic	Inspection Method	Value	Unit
Chemical Analysis			
Al		0,10	WT%
C		0,01	WT%
Cu		0,02	WT%
Fe		0,10	WT%
Mn		0,40	WT%
Ni		95,87	WT%
S		< 0,002	WT%
Si		0,30	WT%
Ti		3,20	WT%

Approved Specifications:

It is hereby certified that the material described above has been inspected, and conforms to all applicable requirements of the contract order and specifications referenced on this certificate. This certificate shall not be reproduced except in full without the written approval of Sulzer Metco. The recording of false, fictitious, or fraudulent statement or entries on this certificate may be punished as felony under the federal law. This material is being supplied in accordance with the Quality System at Sulzer Metco Europe GmbH which is an ISO 9001:2008 Certified Vendor. This material is supplied according to the quality requirements of the customers purchase orders. This inspection certificate meets the requirements of EN10204:2005 3.1 (Inspection Certificate), 2.2 (Test Report) or 2.1 (Certificate of Compliance with the Order).

By

Quality Assurance Representative on behalf of
Joern Lindner

PŘÍLOHA 15

Chemické složení přídatného materiálu GTV 50.17.6

Plasma &
Flame Spray
Engineering



Material, Parts
& Equipment
for
Thermal Spray
Technique

GmbH&Co.KG

postal:
Postfach 311
D-57503 Betzdorf

comp. location/Firmensitz
Gewerbegebiet
D-57629 Luckenbach

Phone/Telefon:
Fax
Internet

+49 (0) 2662 9576 0
+49 (0) 2662 9576 30
www.gtv-mbh.de

Werkzeugnis nach EN 10204-3.1b

Kunde	
Werkzeugnisnr.	04/2804
Bezeichnung gem. EN 14919 5.5	50.17.6 Flammsspritzdraht 1,6 mm" 0,4% C-Stahl
Menge	Kg
Lot	D2804

Chemische Analyse in Gewichts-%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Ni
0,333	0,074	0,581	0,009	0,009	0,080	0,019	0,031	0,041

B	Cu	N	Ti
0,0030	0,029	0,005	0,031

Drahttyp

schmelzmetallurgisch hergestellter Massivdraht

Drahtdurchmesser

Ø = 1,6 mm

Luckenbach, den 03. Mrz. 2016

PŘÍLOHA 16

Základní technické parametry zvolených obráběcích strojů [32, 33, 34]

Univerzálního hrotového soustruhu SU 63 H		
Pracovní rozsah		
Oběžný průměr nad ložem	mm	655
Oběžný průměr nad suportem	mm	690
Vzdálenost mezi hroty	mm	1250 ÷ 8000
Max. hmotnost obrobku v hrotech/v opěrce	kg	6000/8000
Vřeteno		
Vrtání	mm	82
Rozsah otáček	min ⁻¹	91 120
Výkon hlavního motoru	kW	18,5
Suport		
Pracovní posuv podélný	mm·ot ⁻¹	0,04948
Pracovní posuv příčný	mm·ot ⁻¹	0,02415
Rychloposuv podélný	mm·min ⁻¹	4300
Rychloposuv příčný	mm·min ⁻¹	2150

Konzolová frézka FGV 32		
Stůl		
Rozměr pracovní plochy	mm	360 x 1400
Maximální zatížení stolu	kg	250
Posuv v ose X, Y	mm·min ⁻¹	20 ÷ 900
Posuv v ose Z	mm·min ⁻¹	5,7 ÷ 250
Rychloposuv v ose X, Y	mm·min ⁻¹	1635
Rychloposuv v ose Z	mm·min ⁻¹	460
Vřeteno		
Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	mm	370
Otáčky	min ⁻¹	31,5 ÷ 1400
Výkon motoru	kW	5,5
Stroj		
Celkový příkon	kVA	13
Hmotnost	kg	2860

Hrotová bruska BUB 40 B		
Stůl		
Oběžný průměr	mm	400
Vzdálenost mezi hroty	mm	max. 3000
Hmotnost upnutého obrobku		
Mezi hroty	kg	500
Mezi hroty a opěrkách	kg	700
Letmo (včetně upínače)	kg	max. 250